

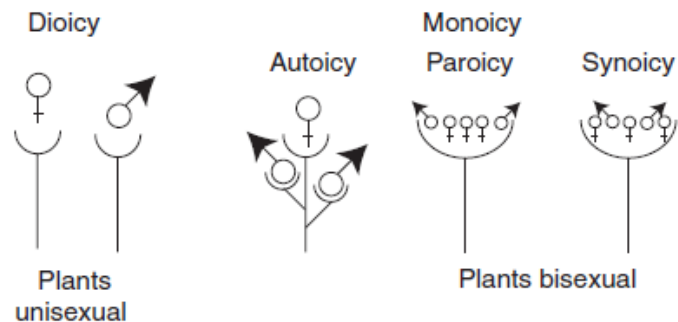
## BAB 2 TINJAUAN TEORITIS

### 2.1. Kajian Pustaka

#### 2.1.1. Tinjauan Umum Tumbuhan Lumut Daun

##### 2.1.1.1. Karakteristik Umum Tumbuhan Lumut Daun

Lumut merupakan tumbuhan tingkat rendah yang biasa ditemukan di lingkungan yang basah dan lembab. Oleh karena itu, sangat cocok dengan habitat seperti hutan hujan tropis dengan menjadi komunitas epifit yang penting untuk aliran air dan nutrisi. Lumut biasanya ditemukan diberbagai substrat seperti pohon, bebatuan, tanah, ataupun kayu lapuk. Lumut dapat mendominasi vegetasi pada wilayah dengan waktu tanam pendek. Lumut merupakan tumbuhan yang dicirikan dengan siklus hidup haploid dan diploid secara bergantian, dengan generasi gametofit lebih dominan dibandingkan dengan generasi sporofit (Vanderpoorter & Goffinet, 2009)(**Gambar 2.1**).

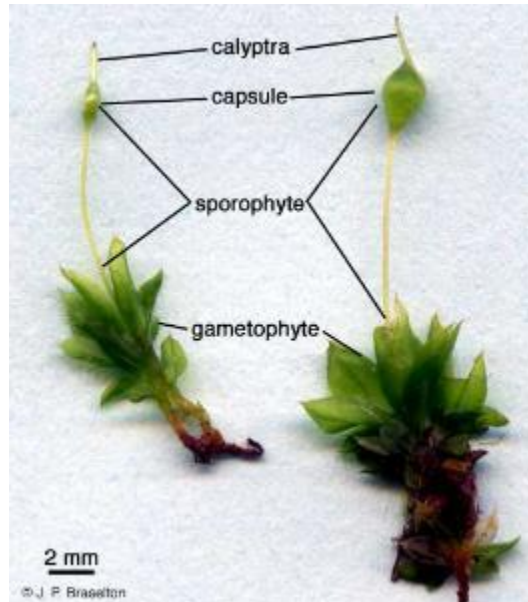


**Gambar 2.1.** Distribusi organ sex pada lumut daun

Sumber : Vanderpoorter, Alain & Goffinet Bernard (2009)

Generasi gametofit pada lumut bersifat bebas dan autotrofik sedangkan generasi sporofit memiliki peran penting dalam reproduksi karena membawa spora dan biasanya tak bercabang (Goffinet & Shaw, 2008). Fungsi utama dari generasi sporofit adalah untuk memproduksi spora dan mengontrol penyebarannya (Kirbis et al., 2020). Oleh karena itu, generasi sporofit pada lumut daun biasanya memiliki morfologi sederhana, yaitu seta yang tidak bercabang yang menghubungkan gametofit dengan kapsul yang memproduksi sporofit (Goffinet & Shaw, 2008). Sementara itu, pada generasi gametofit lumut daun terdiri dari bagian yang menyerupai daun, rhizoid, dan batang atau cabang yang memiliki pola tertentu

untuk membantu proses fotosintesis (Vanderpoorter & Goffinet, 2009;Coudert, Bell, Edelin, & Harrison, 2017).



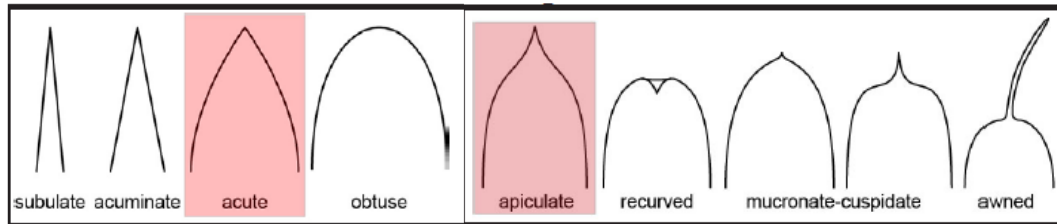
**Gambar 2.2.** Generasi Gametofit dan Sporofit  
Sumber : J. P. Braselton

Letak sporofit pada percabangan ini juga membagi lumut menjadi dua jenis yaitu *pleurocarpous* dan *acrocarpous*. *Pleurocarpous* adalah jenis lumut yang memiliki sporofit pada bagian lateral batang atau percabangan. Sementara itu, *acrocarpous* adalah jenis lumut yang memiliki sporofit pada bagian terminal batang atau percabangan (Bill & Malcolm, 2000). Selain itu, lumut daun juga dapat dibedakan berdasarkan persebaran organ sexnya. Pada lumut daun dapat termasuk ke dalam *dioicy* atau *monoicy*, di mana *monoicy* terbagi kembali menjadi *autoicy*, *paroicy*, dan *synoicy* (Vanderpoorter & Goffinet, 2009) (**Gambar 2.1**). *Dioicy* adalah lumut daun yang memproduksi antheridia dan archegonia pada individu yang berbeda sedangkan *monoicy* adalah kebalikannya karena dalam satu individu lumut daun ditemukan kedua organ sex. *Paroicy* antheridia membatasi archegonia yang berada di tengah sedangkan *synoicy* tercampur. Lalu untuk *autoicy* keberadaan antheridia dan archegonia terpisah (**Gambar 2.1**).

### 2.1.1.2. Morfologi Lumut Daun

Bryophyta menempati posisi pertengahan. Hal ini dikarenakan berevolusi dari nenek moyang yang sama dengan lumut hati namun nenek moyang dari Bryophyta ini lebih terdahulu dan berbeda nenek moyang dengan lumut tanduk dan tumbuhan berpembuluh (Goffinet & Shaw, 2008). Secara makroskopis bagian-bagian tumbuhan vegetatif pada lumut daun terbagi menjadi rhizoid, batang beserta cabangnya, dan bagian yang menyerupai daun. Rhizoid tidak sama dengan akar karena rhizoid memiliki susunan yang lebih sederhana. Rhizoid merupakan filamen yang berfungsi untuk menahan lumut daun agar tetap menempel pada substratnya. Rhizoid tumbuh dari sel epidermis di bagian pangkal batang, sepanjang sisi ventral dari batang, cabang, atau costa (Goffinet & Shaw, 2008). Namun rhizoid juga dapat ditemukan pada pangkal daun, contohnya ditemukan pada *family* Polytrichaceae (Bippus, Escapa, & Tomescu, 2018). Rhizoid pada lumut daun biasanya bercabang dan memiliki warna kecoklatan namun ada pula yang berwarna merah, keputihan, atau ungu (Bill & Malcolm, 2000; Vanderpoorter & Goffinet, 2009). Permukaan rhizoid pada lumut dapat sangat halus atau juga kasar karena terdapat papila. Rhizoid pada lumut daun merupakan multiseluler dan biasanya uniseriate, jarang sekali multi seriate (Goffinet & Shaw, 2008).

Morfologi selanjutnya pada lumut daun yaitu batang atau percabangan. Batang atau percabangan pada lumut daun dapat berupa sympodial atau monopodial. Sympodial merupakan percabangan yang tumbuh terus menerus sehingga terlihat seperti keseluruhannya bercabang, sedangkan monopodial merupakan tipe percabangan di mana, cabang akan tumbuh dari batang utama (Bill & Malcolm, 2000). Percabangan pada lumut daun juga dapat dibedakan berdasarkan arah pertumbuhannya menjadi orthotropic atau plagiotropic (Vanderpoorter & Goffinet, 2009). Pola percabangan juga beragam pada lumut daun yang disebabkan oleh adanya generasi gametofit dan sporofit, di mana keduanya memiliki tujuan yang berbeda seperti kebutuhan akan fotosintesis atau mengurangi kehilangan kadar air (Coudert et al., 2017). Percabangan pada lumut daun terkadang ditutupi oleh bagian yang menyerupai daun yang biasa disebut dengan *clasping leaf*, contohnya pada *Polytrichum*.



**Gambar 2.3.** Karakteristik ujung daun

Sumber : Janssens, Joannes A. (2013)

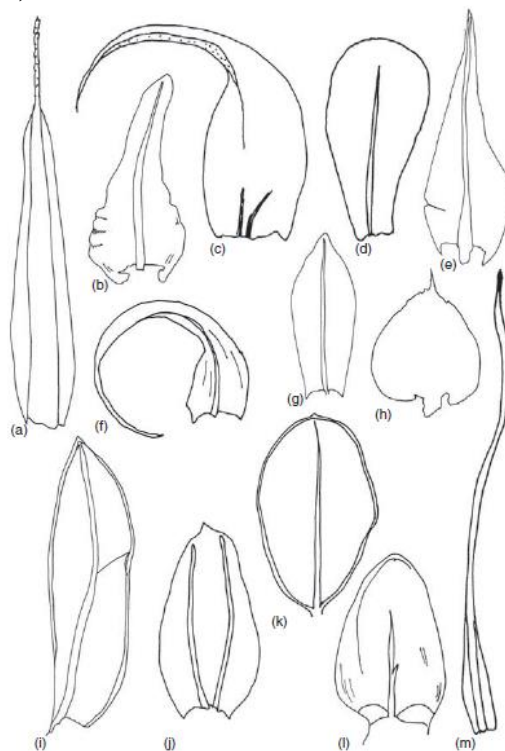
Selain terdapat daun yang menutupi batang atau percabangan, daun pada lumut daun juga dapat dibedakan berdasarkan bentuknya. Daun vegetatif pada lumut daun memiliki berbagai bentuk, yaitu: oblong-lanceolate, oblong-ligulate, circinate, oblong-obovate, ovate-lanceolate, falcate, oblong-ovate, ovate, oblong, elliptic, ovate-elliptic, dan lanceolate (**Gambar 2.5**). Ujung pada daunnya pun beragam ada yang berbentuk subulate, acuminate, acute, obtuse, apiculate, recurved, mucronate, cuspidate, atau awned (Janssens, 2013) (**Gambar 2.3**). Daun pada lumut daun memiliki kesamaan yaitu selalu sesil pada batangnya dan tidak pernah bertangkai. Persebarannya dapat tumbuh sepanjang batang, percabangan atau roset (**Gambar 2.6**).



**Gambar 2.4.** Distichous pada *Rhizogonium didstichum*

Sumber : Bill & Nancy Malcolm (2000)

Bagian menyerupai daun pada lumut daun terkadang memiliki lapisan lilin dan juga costa. Selain itu, beberapa lumut daun memiliki secund, di mana secund dapat dibedakan menjadi circinate, curved-secund, atau falcate-secund (**Gambar 2.8**). Bagian menyerupai daun ini juga dapat dibedakan menjadi distichous, orthostichous, dan tristichous. Distichous atau juga disebut bifarious merupakan daun yang terdiri dalam 2 daun dalam 1 baris dengan arah yang saling berlawanan, sedangkan orthostichous terdiri atas 1 daun dan tristichous terdiri dari 3 daun dalam 1 baris (**Gambar 2.4**).



**Gambar 2.5.** Bentuk daun vegetatif pada lumut daun  
 Oblong-lanceolate (a) oblong-ligulate (b) Circinate (c) Oblong-obovate (d)  
 Ovate-lanceolate (e) Falcate (f) Oblong-ovate (g) ovate (h) daun dengan vaginant  
 lamina (i) Oblong (lingulate) (j) Elliptic (k) Ovate-elliptic (l) Lanceolate (m).  
 Sumber: Vanderpoorten, Alain & Bernard Goffinet (2009)

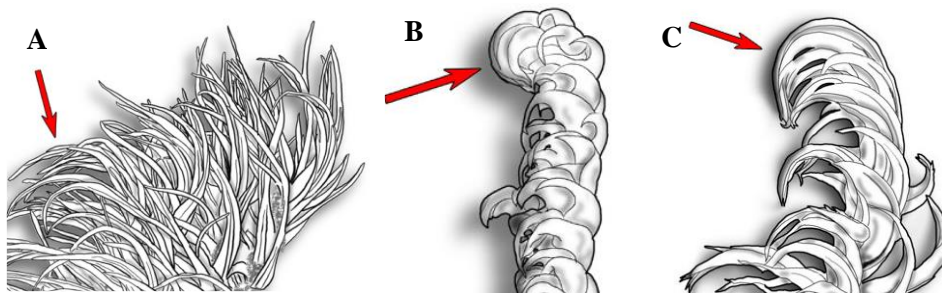
Sementara itu, untuk generasi sporofit pada lumut daun sangat sederhana. Terdiri dari seta yang tidak bercang yang menghubungkan sporangium tunggal ke bagian gametofit pada lumut daun. Seta juga berfungsi untuk mengangkat kapsul di atas daun *perchaetial* yang merupakan modifikasi dari daun untuk melindungi sporofit yang sedang berkembang (Vanderpoorter & Goffinet, (2009); Bill & Malcolm, (2000)). Pada lumut daun, alat kelamin betina disebut dengan

arkegonium dan alat kelamin jantan disebut anteridium. Archegonium akan menghasilkan sel telur sedangkan anteridium menghasilkan antherozoids (Bill & Malcolm, 2000). Pada arkegonium biasanya dilindungi oleh calyptra yang merupakan tudung yang terbentuk dari dinding arkegonium untuk melindungi sporofit dan terbentuk setelah pembuahan sel telur terjadi.



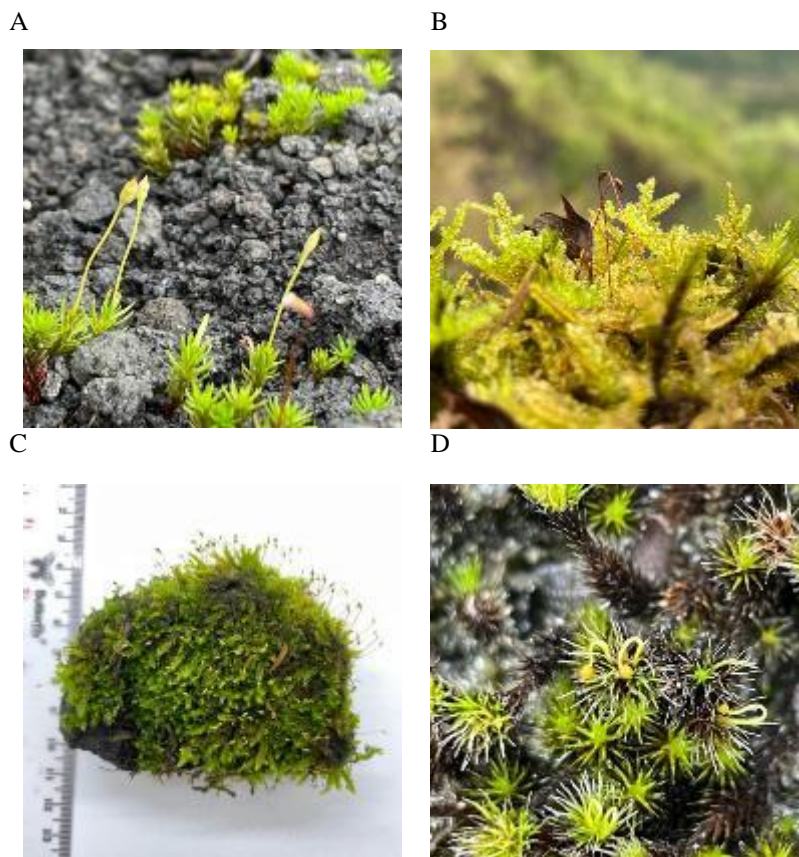
**Gambar 2.6.** Roset pada *Polytrichadelphus magellanicus*  
Sumber : Bill & Nancy Malcolm (2000)

Calyptra yang terbentuk dapat dibedakan menjadi *long mirate*, *short*, *short curcuate*, dan *long curcuate* (**Gambar 2.9**). Selain itu terdapat sebagian lumut daun memiliki operculum pada sporangium (kapsul). Operculum menutupi bagian ujung kapsul yang terdapat spora. Operculum ini akan lepas pada waktunya. Pada kapsul lumut daun juga memiliki peristome, di mana peristome yang dimiliki dapat berupa *single peristome*, *double peristome* atau terkadang *multiple peristome*. Peristome merupakan lingkaran yang tersusun oleh gigi. Pada *double peristome*, peristome luar (*exostome*) berupa susunan gigi yang melingkar sedangkan peristome dalam (*endostome*) terdiri dari segmen-segmen atau terkadang cilia (Bill & Malcolm, 2000).



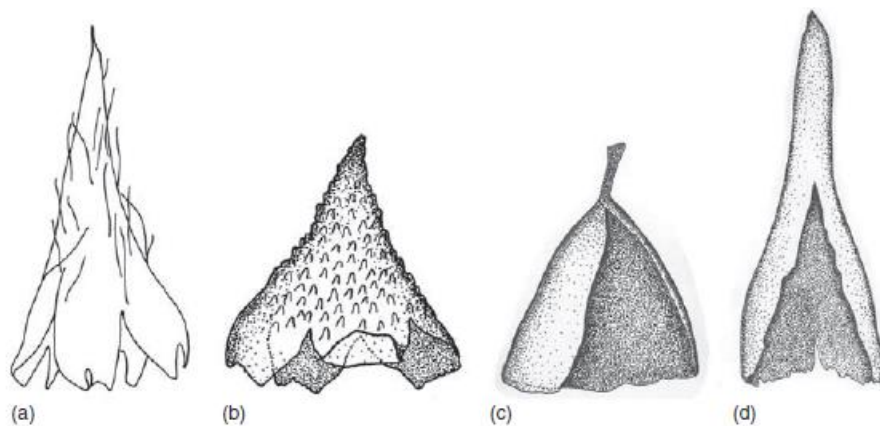
**Gambar 2.7.** *Secund.*  
*Circinate (A) Curved-secund (B) Falcate-secund (C)*  
Sumber : Joannes A. Janssens (2013)

Selain karakteristik secara umum, setiap lumut daun memiliki karakter yang membedakannya dengan jenis lumut daun lainnya khususnya untuk setiap *family* yang berbeda. Pada *family* Polytrichaceae memiliki tumbuhan yang kuat, dioicous, batang biasanya rimpang, dan bagian adaksial memiliki lamela berklorofil (Goffinet & Shaw, 2008)(**Gambar 2.8A**). Pada *family* Leucobryaceae memiliki karakteristik ukuran tumbuhan yang beragam dari kecil hingga besar, dengan batang tumbuh erect. Daun berwarna hijau, terdapat klorofil, berbentuk lanceolate atau ovate-lanceolate dengan costa yang terdiri dari beberapa lapis hingga sebagian besar daunnya merupakan costa (Santos, 2016). Seta soliter, memanjang lurus atau melengkung seperti leher angsa. Kapsul erect, simetris atau asimetris . calyptra berbentuk *culcullate* atau, *mirate*, dengan permukaan halus (Flora of North America, 2014)(**Gambar 2.8D**).



**Gambar 2.8.** Lumut Daun  
*Family* Polytrichaceae (**A**) *Family* Thuidiaceae (**B**) *Family* Briaceae (**C**) *Family*  
 Leucobryaceae (**D**)  
 Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada *family* Bryaceae memiliki karakteristik tumbuh tegak tanpa adanya percabangan (**Gambar 2.8C**) dengan kapsul yang cenderung terjumbai dan halus (Goffinet & Shaw, 2008). *Family* Bryaceae memiliki banyak *genus* salah satunya yaitu *Bryum* dan *Rhodobryum*. Sementara itu, untuk *family* Thuidiaceae memiliki karakteristik terestrial dengan batang bercabang monopodial dan dapat dibedakan. Daun bipinnate atau tripinnate. Memiliki seta yang kasar dan kapsul yang melengkung asimetris (Goffinet & Shaw, 2008);Touw, 2014)(**Gambar 2.8B**). Sedangkan untuk *family* Sematophyllaceae, pada bagian menyerupai daun terkadang memiliki kosta tunggal atau dua kali lipatnya dengan rhizoid yang juga terkadang halus atau dapat ditemukan papilla. Dengan exotome berwarna kuning kecoklatan dan sering ditemukannya stomata pada kapsul (Newton & Tangney, 2007).



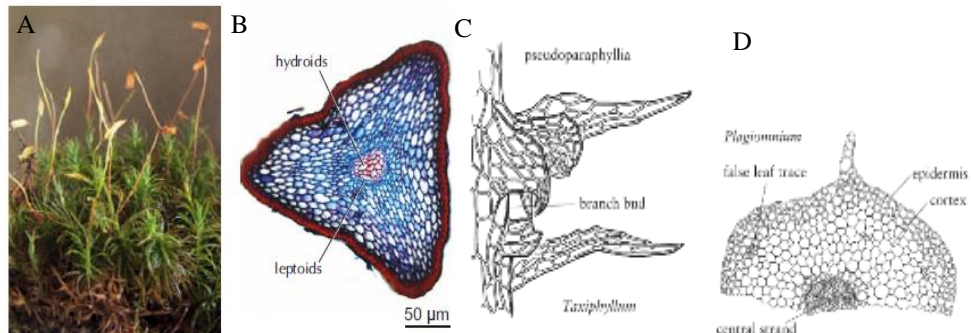
**Gambar 2.9.** Macam-macam Calyptra pada Lumut Daun  
*Long mirate* (a) *short mirate* (b) *short curculate* (c) *long curculate* (d)  
 Sumber : Vanderpoeter, Alain, & Bernard Goffinet (2009)

### 2.1.1.3. Anatomi Lumut Daun

Batang atau percabangan pada lumut daun dimulai dari perkembangan sel apikal. Pertumbuhan batang berasal dari 1 sel apikal, di mana sel apikal juga menjadi awalan dibagian epidermis untuk menjadi percabangan yang akan menghubungkan dengan batang atau antar percabangan (Goffinet & Shaw, 2008). Anatomi batang atau cabang pada lumut daun terdiri dari sel epidermis yang tebal mengelilingi bagian korteks yang terdiri dari kumpulan sel parenkim, di mana untuk beberapa lumut daun terdapat fiber yang mengelilingi sel parenkim lalu ditemukan sel leptoid dan hydroid (Goffinet & Shaw, 2008 ;Schweingruber & Börner, 2018).



Sel leptoid dan hydroid ini biasanya terdapat pada bagian inti dari batang atau cabang, di mana sel leptoid membantu persebaran hasil fotosintesis dan hydroid mengalirkan air dan zat hara (Schweingruber & Borner, 2018) (**Gambar 2.10**). Leptoid adalah sel yang tidak berlignifikasi, memiliki dinding horizontal, dan membesar secara longitudinal.

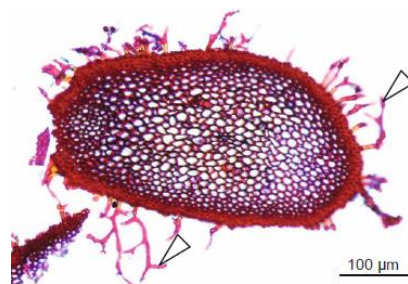


**Gambar 2.10.** Anatomi batang

(A) *Polytrichum commune*. (B) anatomi batang *Polytrichum commune*. (C) Anatomi percabangan. (D) Anatomi batang secara melintang

Sumber : Schweingruber & Borner (2018); Stotler & Began (2007)

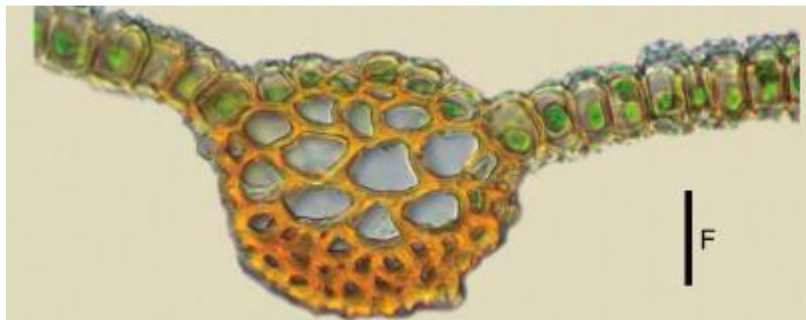
Sementara itu, rhizoid pada lumut daun tumbuh dari sel epidermis pada dasar batang atau cabang (**Gambar 2.11**). Rhizoid jarang terbentuk dari sel yang terspesialisasi. Rhizoid merupakan filamen yang multiseluler dan terkadang bercabang (Bill & Malcolm, 2000). Rhizoid tidak ditemukan pada *Takakia* dan pada pleurocarpous juga jarang memiliki rhizoid. Dentitas, panjang, dan percabangan pada rhizoid dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan jenis substrat (Goffinet & Shaw, 2008). Selain batang dan rhizoid, sel penyusun pada bagian menyerupai daun bentuk dan ukurannya tidak sama, cenderung lebih kecil pada bagian ujung daun dan lebih panjang dan lebar pada pangkal daun (Crandall-Stotler & Bartholomew-Began, 2007).



**Gambar 2.11.** Rizoid pada *Thuidium tamariscinum*

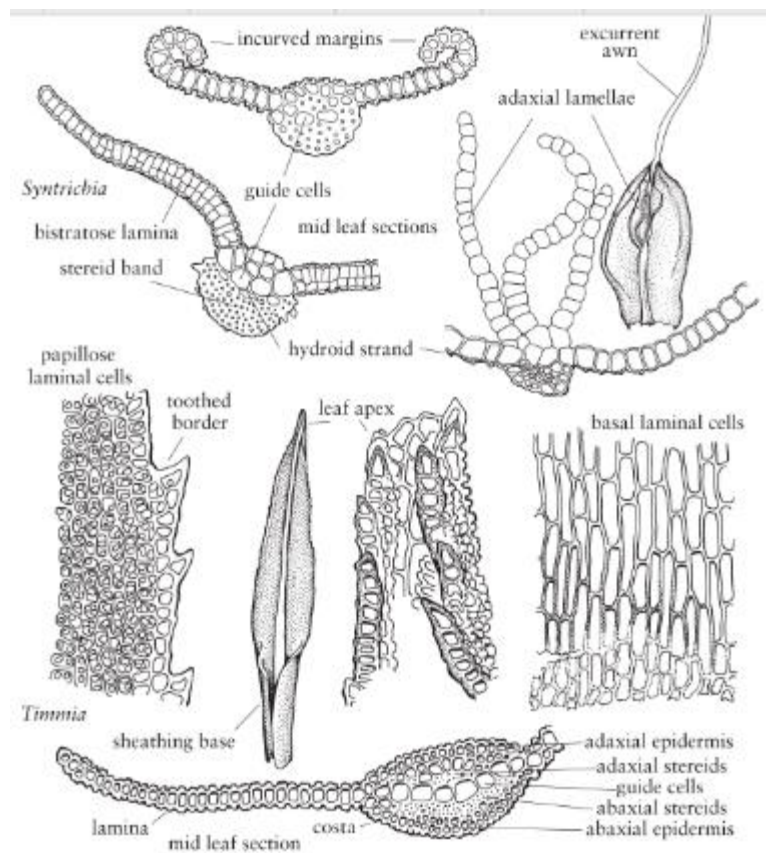
Sumber : Sumber : Schweingruber & Borner (2018). Skala bar : 100μm

Pada lumut daun pleurocarpous biasanya sel lamina berbentuk panjang dan tipis (**Gambar 2.13**). Beberapa bagian menyerupai daun pada lumut daun memiliki costa. Costa adalah penebalan pada bagian tulang daun, dapat berupa *single* atau *double* costa (Bill & Malcolm, 2000). Contoh dari lumut daun yang memiliki costa adalah *Syntrichia lamellaris* (Gallego, Cano, Larraín, & Guerra, 2020) (**Gambar 2.12**). Beberapa lumut daun juga memiliki papillose pada bagian yang menyerupai daunnya (Schweingruber & Borner, 2018)(**Gambar 2.13**). Papillose merupakan lapisan kasar yang disebabkan oleh adanya papillae, di mana papillae adalah sel yang memiliki penebalan dinding pada bagian tertentu (Bill & Malcolm, 2000). Pada daun yang berpapillose, papilla akan mengantarkan air, lalu bagian apex akan selalu kering dan siap untuk melakukan difusi (Vanderpoorter & Goffinet, 2009).



**Gambar 2.12.** Costa pada *Syntrichia lamellaris*  
Sumber : Gallego et.all (2020)

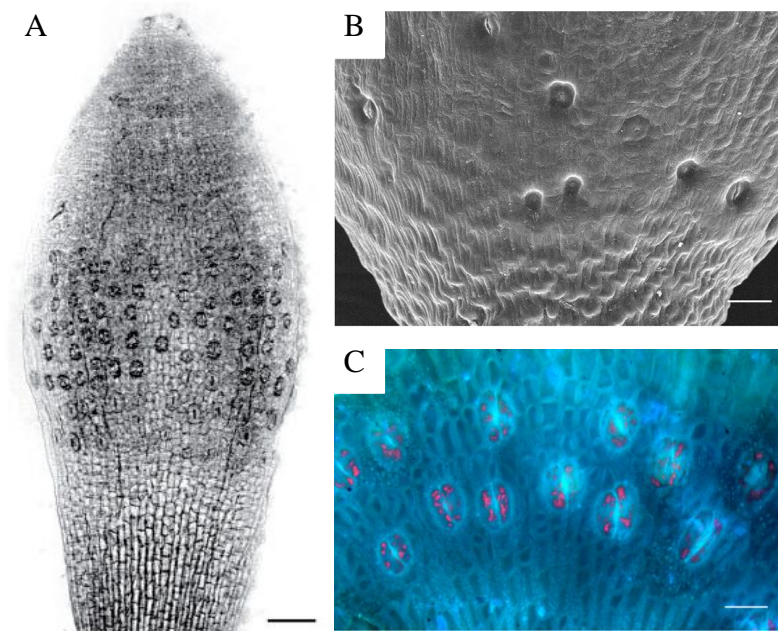
Selain bagian gametofit terdapat pula sporofit. Sporofit pada lumut daun terbagi menjadi kapsul dan seta. Anatomi seta tidak jauh berbeda daripada anatomi batang atau cabang. Berbeda dengan pertumbuhan gametofit yang dimulai dari sel apikal, sporofit memulai pertumbuhannya dari meristem interkalar (Vanderpoorter & Goffinet, 2009). Kapsul dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu, dasar leher, median spora, dan distal operculum (Schweingruber & Borner, 2018). Pada bagian kapsul juga terdapat stomata pada beberapa lumut daun (**Gambar 2.14**). Biasanya stomata dapat ditemukan pada dasar dari kapsul sporangium (Merced & Renzaglia, 2017)(**Gambar 2.14**). Secara evolusi, hanya stomata pada lumut daun dan lumut tanduk saja yang terdapat pada sporofitnya. Sedangkan stomata tidak ditemukan pada lumut hati. Hal inilah yang menjadikan kemungkinan stomata memang hilang secara keseluruhan pada garis keturunan awal (Merced & Renzaglia, 2017).



**Gambar 2.13. Anatomi Daun**

Sumber : Stotler & Began (2007)

Stomata yang terdapat pada Bryophyta yang hanya ditemukan pada bagian sporofit sudah berbeda dengan Tracheophyta secara lokasi stomata dan fungsinya (Rensing, 2018). Hal ini disebabkan karena fungsi stomata pada Tracheophyta sudah sama dengan tumbuhan tingkat tinggi. Namun, stomata pada lumut daun masih memiliki struktur yang sama yaitu 2 sel pelindung yang membentuk sebuah pori. Namun, fungsi stomata pada lumut daun tidak sama seperti pada tumbuhan lainnya, melainkan berkontribusi pada proses produksi spora dan penyebarannya (Mcadam et al., 2021). Oleh karena itu, fungsi stomata pada lumut daun masih menjadi kajian dan perdebatan sama halnya dengan hanya beberapa *family* lumut daun saja yang memiliki stomata.



**Gambar 2.14.** Stomata pada lumut daun

(A) *Sporangium Funaria* sebesar 75  $\mu\text{m}$  dengan GMC. (B) Stomata pada

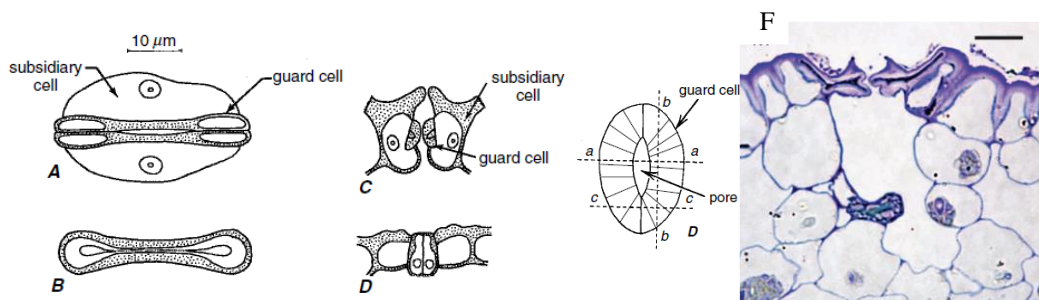
*Brachythecium rutabulum* SEM. (C) Stomata pada *Bartramia pomiforme*

Sumber : Merced, Amelia & Karen S. Renzaglia (2016); Renzaglia et.all (2020)

Stomata merupakan celah atau pori pada epidermis. Pori ini secara tunggal disebut dengan stoma, sedangkan bentuk jamaknya disebut dengan stomata. Lalu untuk penyebutan stoma mengacu pada pori dan sel penjaganya, sedangkan kompleks stomata mengacu kepada stoma beserta sel tetangganya (Willmer & Fricker, 1996). Oleh karena itu, pori yang terbentuk merupakan hasil dari perubahan bentuk dari sel penjaga karena sel tersebut dapat mengembang atau menyusut. Ketika sel penjaga mengembang maka stomata terbuka dan ketika sel penjaga menyusut maka stomata menutup (Granot & Kelly, 2019).

Kegiatan membuka atau menutupnya stomata diakibatkan dari kenaikan dan penurunan tekanan osmotik. Hal tersebut tentu saja terjadi dari proses kimiawi yang kompleks. Banyak teori mengenai bagaimana alasan sel penjaga dapat membuka dan menutup. Hingga sekarang, masih banyak penelitian mengenai hal tersebut yang dapat memperkuat penelitian sebelumnya atau bahkan menolak teori yang sudah ada sebelumnya. Sinar matahari termasuk *blue light* dan *red light* membuat stomata terbuka. Intensitas *blue light* yang rendah yang biasanya mendominasi saat matahari baru terbit juga mengakibatkan sebuah mekanisme yang membuat stomata

terbuka. (Granot & Kelly, 2019). Selain faktor lingkungan seperti cahaya, kelembaban, konsentrasi CO<sub>2</sub>, dan suhu yang mempengaruhi membuka atau menutupnya stomata, perubahan kandungan osmolit juga mempengaruhi sel penjaga. Terlepas dari sel penjaga dapat melakukan fotosintesis, akumulasi metabolit dari turunan mesofil dapat menjadi sinyal yang nantinya akan berkontribusi dalam regulasi membuka atau menutupnya stomata (Lawson & Matthews, 2020; Daloso et al., 2017). Zat osmolit seperti kalium, malat, dan klorida telah didukung oleh studi fisiologis dan molekuler terbukti dapat membuat stomata terbuka (Granot & Kelly, 2019). Oleh karena itu, stomata sangat dipengaruhi mekanisme proses kimiawi yang terjadi pada sel penjaga.

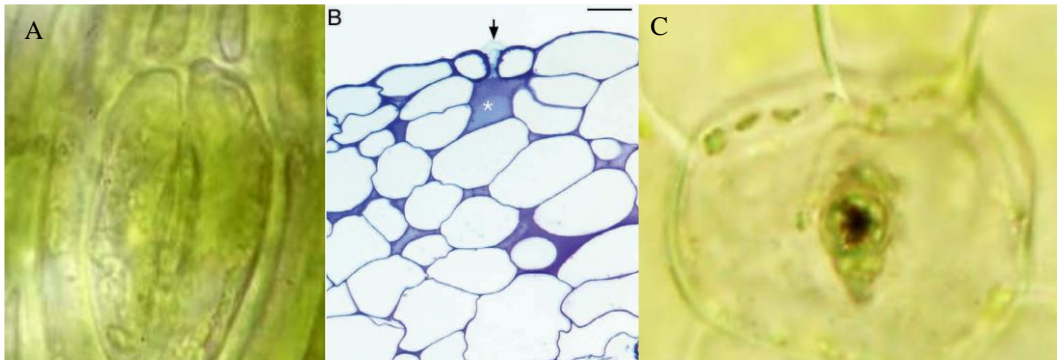


**Gambar 2.15.** Stomata bentuk halter

Stomata halter (A) stomata yang dilihat berdasarkan potongan bb, aa, cc (B-D)  
Stomata *Leiosporoceros dussii* (F).

Sumber : Ray F. Evert (2006); Merced & Renzaglia (2017)

Proses kimiawi yang terjadi pada sel penjaga tentu saja tidak terlepas dari fisiologi dari tumbuhan itu sendiri, khususnya bagi lumut daun. Masih menjadi perdebatan mengenai keberadaan stomata pada lumut daun dalam pandangan fisiologi. Stomata pada lumut daun tersebut berevolusi dari tanggapan ABA dan pergerakan aktif atau justru mekanisme pasif untuk kebutuhan air (Sussmilch, Brodribb, & McAdam, 2017). Dari kedua kemungkinan tersebut, keberadaan stomata dilihat dari pandangan fisiologi tentu saja akan dapat diperkuat jika didapatkan informasi mengenai karakteristik dari stomata, seperti karakteristik sel penjaga.



**Gambar 2.16.** Stomata bentuk ginjal

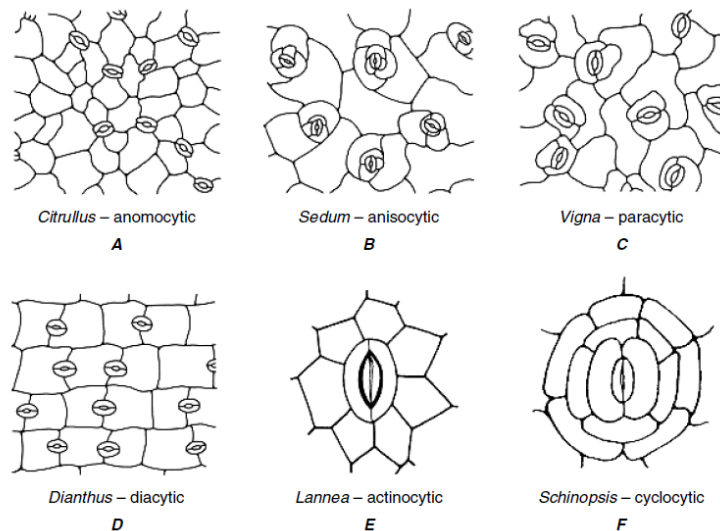
Stomata *Anthoceros angustata* (Foto oleh Hironori Deguchi) (A) Stomata *Physcomitrella* (B) Stomata *Physcomitrium pattens* (C)

Sumber : Glime J. M. (2022); Merced & Renzaglia (2017); Caine et all (2020)

Sel Penjaga berdasarkan bentuknya dapat dibedakan menjadi 2, yaitu berbentuk ginjal (*kidney-shaped*) dan halter (*dumbbell-shaped*). Pada stomata yang berbentuk halter memiliki tepian yang jika dilihat dari penampang berbentuk seperti tanduk. Tepian tersebut dapat terdapat pada dinding sel bagian dalam dan luar. Jika terdapat pada keduanya, maka tepian luar akan membatasi ruang bagian depan dan tepian dalam membatasi ruang belakang (Ray F. Evert, 2006) (**Gambar 2.15**). Stomata berbentuk halter dapat ditemukan pada lumut tanduk *Leiosporoceros dussii*. Sementara itu, stomata berbentuk ginjal biasa ditemukan pada sebagian besar lumut daun (Glime, 2021). Karakteristik stomata berbentuk ginjal adalah berbentuk sempit pada bagian tengahnya dan membesar di kedua ujungnya” (Ray F. Evert, 2006)(**Gambar 2.16**).

Selain terdapat sel penjaga, terdapat pula sel tetangga yang letaknya mengelilingi sel penjaga. Sel tetangga memiliki perbedaan jika dibandingkan dengan sel epidermis. Hal ini didukung oleh pernyataan Willmer & Fricker, (1996 : 40) bahwa sel tetangga adalah sel epidermis yang dispesialisasi sehingga memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dari sel epidermis pada umumnya. Sel penjaga biasanya lebih kompleks secara struktur dan fungsinya jika dibandingkan dengan sel epidermis. Selain itu, sel tetangga kebanyakan berukuran lebih kecil dan memiliki susunan zat pada sitoplasma yang lebih banyak dan beragam. Oleh karena

itu, umumnya sel tetangga dapat dibedakan dari sel epidermis lain ataupun sel penjaga itu sendiri.

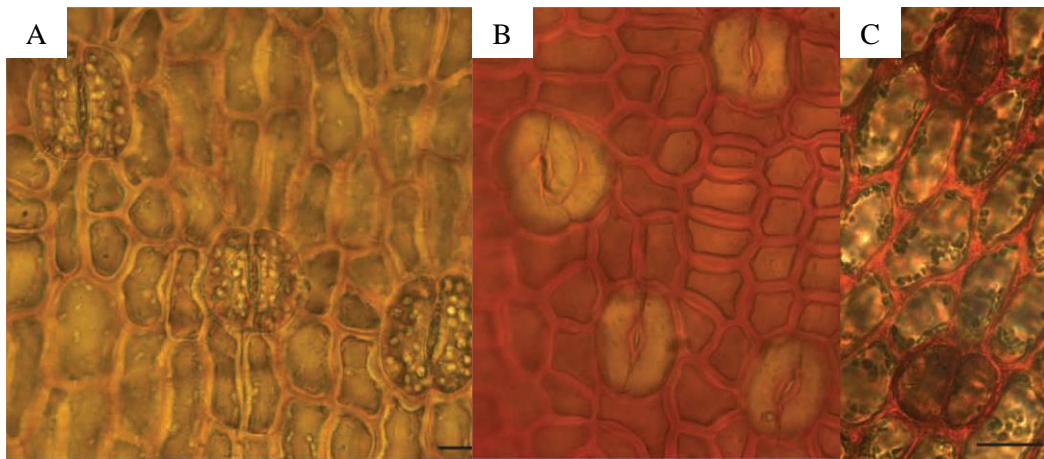


**Gambar 2. 17.** Tipe Stomata berdasarkan jumlah sel tetangga.  
Sumber : Essau (1977)

Selain memiliki karakteristik yang berbeda, sel penjaga juga dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah sel tetangga menjadi 7 tipe, yaitu: anomositik, anisositik, parasitik, diasitik, aktinositik, siklositik, dan tetrasitik (**Gambar 2.17**). Anomositik merupakan tipe stomata dengan jumlah sel tetangga yang tidak menentu saat mengelilingi sel penjaga dan bentuknya tidak begitu dapat dibedakan dengan sel epidermis lainnya. Dapat dikatakan bahwa anomositik tidak memiliki sel tetangga yang mengelilingi sel penjaga (Rudall, 2007). Tipe anomositik biasanya dapat ditemukan pada Lumut tanduk, Lumut daun, Lycophytes, Lauraceae, Aphocynaceae, Sternonaceae, Amaryllidaceae, Tecophilaeaceae, Araceae (Rudall, 2013; 2017; Ni sa, Shah, Mumtaz, & Sultan, 2019; Lawal, Olaniyi, Rufai, & Aremu, 2021).

Anisositik adalah tipe stomata dengan 3 sel tetangga yang secara ukuran tidak sama mengelilingi sel penjaga. Dapat ditemukan pada Dioscoreaceae dan Brassicaceae (Rudall et al., 2017; Ray F. Evert, 2006). Parasitik adalah tipe stomata dengan 1 atau lebih sel tetangga berada berdampingan dengan sel pelindung namun sel tetangga tersebut sejajar dengan sumbu panjang dari sel pelindung. Biasanya dapat ditemukan pada Poales, Zingiberales, Commelinales, Dasypogonales,

Alismatales, dan Acorales (Rudall et al., 2017). Diasitik merupakan tipe stomata di mana terdapat 2 sel tetangga yang berdampingan dengan sel pelindung namun posisi sel tetangga tersebut tegak lurus dengan sumbu panjang dari sel pelindung. Dapat ditemukan pada Verbenaceae (Ajuziogu et al., 2018).



**Gambar 2.18.** Posisi stomata terhadap epidermis Stomata lebih tinggi daripada epidermis, Pohlia (A) Stomata panerofor, Hypnum (B) Stomata kriptofor, Sphagnum (C)  
Sumber : Merced & Renzaglia (2017)

Aktinositik merupakan tipe stomata dengan sel tetangga mengelilingi sel penjaga dengan posisi tegak lurus dengan sumbu panjang dari sel pelindung. Sedangkan berbeda dengan tipe aktinositik, tipe siklositik merupakan tipe stomata dengan 4 atau lebih sel tetangga melingkari sel pelindung seperti cincin. Dan tipe terakhir yaitu tipe tetracytic adalah stoma yang tertutup oleh 4 sel tetangga, 2 lateral dan 2 polar (terminal), biasanya banyak ditemukan pada monokotil seperti Arecaceae (Ray F. Evert, 2006; Rudall et al., 2017). Setiap spesies dapat memiliki beberapa jenis tipe stomata dan perubahan tipe stomata juga dapat terjadi selama pertumbuhan dari tumbuhan tersebut.

Selain dapat dibedakan dari tipe stomata berdasarkan jumlah sel tetangga yang mengelilingi sel pelindung, stomata juga dapat dibedakan berdasarkan letaknya terhadap epidermis. Letak stomata terhadap epidermis dapat lebih tinggi, sejajar biasa disebut dengan panerofor, atau dapat pula posisinya lebih rendah dari epidermis, biasa disebut dengan kriptofor (Hassanah et al., 2021) (**Gambar 2.18**). Posisi stomata yang letaknya lebih rendah dari epidermis ini sebagai adaptasi terhadap lingkungan agar meminimalkan kehilangan air.



### 2.1.2. Taksonomi Tumbuhan Lumut Daun

Lumut termasuk ke dalam *superdivision* Embryophyta dengan 4 *division* di bawahnya terdapat Anthocerophyta, Marchantiophyta, Bryophyta, dan Tracheophyta (ITIS, n.d.). *Division* Bryophyta merupakan *division* lumut daun. *Division* Bryophyta ini membawahi 8 *class*, di antaranya : Andeaeobryopsida, Andreaeopsida, Bryopsida, Oedipodiopsida, Polytrichopsida, Sphagnopsida, Takakiopsida, dan Tetrapihidopsida. Untuk *class* Bryopsida sendiri terbagi kembali menjadi 7 *Subclass*, yaitu : Bryidae, Buxbaumiidae, Dicranadia, Diphysciidae, Encalyptidae, Funariidae, dan Timmiidae. *Subclass* Bryadae terbagi menjadi 12 *order*, yaitu : Aulacomniales, Bartramiales, Bryales, Hedwigiales, Hookeriales, Hypnales, Hypnodendrales, Orthodontiales, Orthotrichales, Ptychomniales, Rhizogoniales, dan Splachnales. Lalu, untuk *subclass* Buxbaumiidae hanya membawahi 1 *order* yaitu *order* Buxbaumiales. Untuk *subclass* Dicraniade terbagi menjadi 8 *order*, yaitu: Archidiales, Bryoxiphiales, Catoscopiales, Dicranales, Grimmiales, Pottiales, Pseudoditrichales, dan Scouleriales. Lalu, untuk *subclass* Diphysciidae membawahi *order* Diphysciales sedangkan *subclass* Timmiidae juga hanya membawahi 1 *order* yaitu *order* Timmiales. Selanjutnya, untuk *subclass* Encalyptiade juga hanya membawahi 1 *order* yaitu *order* Encalyptales. Untuk *subclass* terakhir yaitu Funariidae membawahi 2 *order*, yaitu Funariales dan Gigaspermales.

*Class* Sphagnopsida membawahi 2 *order*, yaitu Ambuchananiales dan Sphagnales. Selain *class* Bryopsida dan Sphagnopsida, hanya membawahi 1 *order* saja. *Class* Andeaeobryopsida membawahi *order* Andeaeobryales. *Class* Andreaeopsida membawahi *order* Andreaeales. *Class* Oedipodiopsida membawahi orde Oedipodiales. *Class* Polytrichopsida membawahi orde Polytrichales. *Class* Takakiopsida membawahi *order* Takakiales. Lalu, *class* terakhir yaitu Tetrapihidopsida membawahi *order* Tetrapihidales.

Pada penelitian ini, peneliti hanya fokus pada *family* Polytrichaceae yang termasuk kepada *order* Polytrichales. Lalu, *family* Leucobryaceae yang termasuk ke dalam *order* Dicranales. Selanjutnya, *family* Bryaceae yang termasuk ke dalam

*order* Bryales. Lalu, *family* Thuidiaceae dan *family* Sematophyllaceae yang termasuk ke dalam *order* Hypnales.

### **2.1.3. Manfaat Lumut Daun Bagi Ekologi**

Lumut daun memiliki peran dalam ekosistem seperti stabilitas tanah, retensi air, fiksasi karbon, dan fiksasi nitrogen (Antoninka, Bowker, Reed, & Doherty, 2016). Habitat yang luas dimiliki oleh lumut daun karena persebaran populasinya pun sangat tersebar (Goffinet & Shaw, 2008). Habitat dan populasi yang luas ini diakibatkan karena lumut daun memiliki perbedaan daripada tumbuhan berpembuluh seperti Tracheopyta ataupun tumbuhan tingkat tinggi lainnya, baik dari segi morfologi maupun fisiologi. Contohnya tidak memiliki jaringan pembuluh sehingga transportasi berlangsung dari sel ke sel. Selain itu, lumut daun cenderung sangat cepat pulih dari musim yang kering ataupun dingin dan dapat hidup pada saat periode yang kering sehingga sangat cocok untuk menjadi agen restorasi (Vanderpoorter & Goffinet, 2009; Antoninka et al., 2016). Oleh karena itu, lumut daun sangat berperan dalam keanekaragaman spesies dan kekayaan spesies (Vanderpoorter & Goffinet, 2009). Selain itu, Lumut daun merupakan biomonitor untuk melihat jejak logam di atmosfer dan bioindikator pencemaran udara (Mahapatra et al., 2019). Lumut daun tergolong tumbuhan yang sangat sensitif. Adanya perubahan lingkungan yang diakibatkan dari kegiatan manusia yang menimbulkan perubahan iklim dan global warming akan sangat berpengaruh pada distribusi dan komposisi lumut daun pada suatu komunitas.

### **2.1.4. Gunung Galunggung**

Gunung Galunggung terletak di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat. Gunung Galunggung terbagi menjadi empat bagian, yaitu morfologi kawah, morfologi lereng, morfologi kaki, dan morfologi berbukit. Morfologi kawah berbentuk cekungan di puncaknya yang merupakan kawah Guntur sedalam 100-150 meter dengan bagian selatan yang terpotong oleh kawah Galunggung. Kawah ini terbentuk setelah adanya erupsi pada tahun 1983 yang mengakibatkan terbentuknya kawah berbentuk tapal kuda dengan luas 560x440 meter dan tinggi 70 meter. Sementara itu, untuk morfologi lereng berada pada ketinggian di atas 700

mdpl (As'Ari, Rohmat, Maryani, & Ningrum, 2019). Selain itu terdapat pula kawasan hutan Gunung Galunggung yang merupakan ekosistem penting.



**Gambar 2. 19.** Kawah Gunung Galunggung  
Sumber : Google Earth

Hutan Gunung Galunggung tidak hanya memiliki keanekaragaman yang tinggi namun juga memiliki fungsi sebagai resapan air dan penunjang lingkungan hidup di Kabupaten Tasikmalaya. Kondisi vegetasi umumnya sedang dalam proses suksesi vegetasi menuju ke hutan primer, kecuali kawasan sekitar Cipanas dan kawah dengan ketinggian sekitar 700-1.250 mdpl kondisinya masih didominasi oleh hutan produksi, contohnya pinus (*Pinus merkusii*) (Suryana, Parikesit, & Iskandar, 2018). Sekalipun terdapat tanaman yang dominan, Gunung Galunggung merupakan wilayah yang sangat cocok menjadi habitat berbagai tumbuhan karena memiliki kekayaan flora yang cukup tinggi (R. R. Putra & Fitriani, 2018). Terbukti dari adanya penelitian sebelumnya mengenai eksplorasi *family* Orchidaceae dan 10 jenis Anggrek yang ditemukan di kawasan ini (R. Putra & Fitriani, 2019). Selain itu, kawasan Gunung Galunggung juga ditemukan tumbuhan endemik seperti hasil penelitian mengenai identifikasi tumbuhan *Nepenthes sp.* atau kantong semar (R. R. Putra & Fitriani, 2018). Selain itu, dari observasi lapangan yang dilakukan oleh peneliti sebagai penelitian pendahuluan, kawasan ini memiliki vegetasi yang baik. Hal ini didukung dengan data klimatik di Gunung Galunggung yang memungkinkan adanya vegetasi yang baik, dengan intensitas curah hujan 29.7 mm/hari, suhu udara sekitar 20.96-31.4°C, dan kelembaban sekitar 62.1-100% (Ruhaedi, 2021).

## **2.1.5. Faktor Klimatik**

### **2.1.5.1. Suhu**

Suhu sangat penting dalam pertumbuhan lumut daun. Lumut daun pada umumnya dapat tumbuh dengan suhu optimum sekitar 20-30° C, tetapi dapat mentoleransi lingkungan dengan suhu 39-45° C (Rousk, Pedersen, Dyrnum, & Michelsen, 2017 ;Glime, 2021). Namun, lumut juga dapat ditemukan pada tempat yang ekstrim seperti Antartica. Lumut yang ditemukan tentu saja berbeda dengan lumut daun kebanyakan, dengan suhu optimal pada 13.7°C, 12.0°C, 6.6°C untuk *B. subrotundifolium*, *B. pseudotriquetrum* dan *C. purpureus* sebagai lumut daun Antartica (Pannewitz et al., 2005).

### **2.1.5.2. Kelembaban**

Kelembaban sangat penting dalam pertumbuhan lumut daun. Sekalipun beberapa lumut daun memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang ekstrim dan kemampuan untuk mendominasi di suatu wilayah, lumut daun cenderung lebih banyak ditemukan pada lingkungan dengan kelembaban yang ideal. Hal ini dikarenakan, kebanyakan lumut daun tidak memiliki kemampuan untuk mempertahankan air pada tubuhnya, sehingga lumut daun akan kehilangan air pada lingkungan dengan kelembaban rendah (FAJUKE, 2010). Kelembaban yang ideal juga akan membuat tingkat pertumbuhan panjang lumut daun meningkat, contohnya pada *Dicranum majus* dan *Rhytidiadelphus loreus* (Hanslin, Bakken, & Pedersen, 2001).

### **2.1.5.3. Intensitas Cahaya**

Intensitas cahaya berpengaruh pada beberapa jenis lumut daun. Lumut daun dengan substrat tertentu seperti pada pepohonan sangat bergantung pada kompetisi untuk mendapatkan cahaya dengan tumbuhan berpembuluh yang ada di sekitarnya, di mana dapat mempengaruhi kelangsungan dari lumut daun (Van Der Wal, Pearce, & Brooker, 2005). Terdapat pula lumut daun yang hidup pada lingkungan dengan kondisi intensitas cahaya tinggi relatif tinggi contohnya pada *Racomitrium japonicum* dan *Hypnum plumaeforme*. Namun, ada pula lumut daun yang dapat hidup pada kondisi lingkungan dengan intensitas cahaya yang berfluktuasi (Lei et al., 2021).

#### **2.1.5.4. pH**

Lumut daun biasanya melakukan adaptasi lokal, di mana setiap lumut daun akan melakukan adaptasi terhadap lingkungan yang ditempatinya termasuk dalam hal pH lingkungan. Lumut daun akan tumbuh pada lingkungan dengan pH relatif ideal untuk setiap spesiesnya. *Sphagnum* lebih toleran pada lingkungan dengan pH rendah, contohnya *Sphagnum warnstorffii*, *S. contortum*, *S. teres* cenderung optimal pada lingkungan ber-pH 6 (Plesková et al., 2016).

#### **2.1.6. Bahan Ajar**

Bahan ajar merupakan sesuatu yang digunakan oleh tenaga pendidik dan peserta didik dalam proses pembelajaran. Bahan ajar digunakan oleh tenaga pendidik untuk memudahkan peserta didik dapat memahami materi yang dituntut dalam kurikulum. Selain itu, bahan ajar juga memudahkan tenaga pendidik untuk membuat peserta didik menuntaskan tuntutan dari kompetensi dasar (Kosasih, 2021). Bahan ajar ini juga sebagai sesuatu yang dipersiapkan oleh tenaga pendidik di luar proses pembelajaran agar saat proses pembelajaran tenaga pendidik dapat berfokus pada menaikkan minat peserta didik dan ketercapaian memenuhi tujuan pembelajaran.

Bahan ajar dapat disiapkan oleh tenaga pendidik dari berbagai sumber dan bentuk. Bahan ajar saat ini tidak hanya didapatkan dalam bentuk buku melainkan ada pula jenis bahan ajar lain seperti modul, lembar kerja peserta didik, *handout*, tayangan dll. (Kosasih, 2021). Selain bentuknya yang beragam, saat ini bahan ajar yang sedang diminati oleh tenaga pendidik dan peserta didik adalah bahan ajar yang dapat digunakan secara daring maupun luring serta pembelajaran *synchronous* ataupun *asynchronous*. Salah satunya yaitu booklet.

Booklet merupakan bahan ajar yang berukuran kecil dan penyajiannya lebih ringkas dibandingkan dengan buku (Yusuf, Saraswati, & Ahmad, 2019). Booklet dapat menjadi alternatif bahan ajar karena berisi mengenai informasi secara spesifik. Selain karena ukurannya yang relatif kecil, booklet juga dapat dengan mudah dibawa ke mana saja dan dipelajari secara mandiri. Efektivitas booklet dapat ditingkatkan dari konten yang biasanya disajikan dalam bentuk gambar dan kalimat yang mudah dipahami. Oleh karena itu, booklet sangat cocok dalam memuat

informasi mengenai karakteristik dan anatomi stomata lumut daun, di mana dibutuhkan banyak tampilan gambar agar memudahkan peserta didik untuk memahaminya. Informasi tersebut dapat digunakan oleh perguruan tinggi dalam mempelajari tumbuhan tingkat rendah dan anatomi tumbuhan.

## **2.2. Hasil Penelitian yang Relevan**

Berdasarkan penelitian tentang Identifikasi Tumbuhan Lumut di Kawasan Wisata Gunung Galunggung Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat, ditemukan 20 spesies dari 15 *family* lumut yang teridentifikasi (Rizal et al., 2019). Dari 20 spesies lumut tersebut terdapat 4 spesies dari 4 *family* yang merupakan lumut daun dengan keberadaan stomata. Empat *family* tersebut diantaranya: Polytrichaceae, Bryaceae, Thuidiaceae, dan Sematophyllaceae. Fakta ini berdasarkan hasil penelitian bahwasannya terdapat 40 *family* dan 74 *genus* dari lumut daun yang mengalami kekurangan stomata dan 68 *genus* di antaranya sudah tidak memiliki stomata (Renzaglia et al., 2020). Oleh karena itu Liu menyimpulkan, terdapat 14 *family* dari lumut daun yang masih memiliki stomata (Renzaglia et al., 2020).

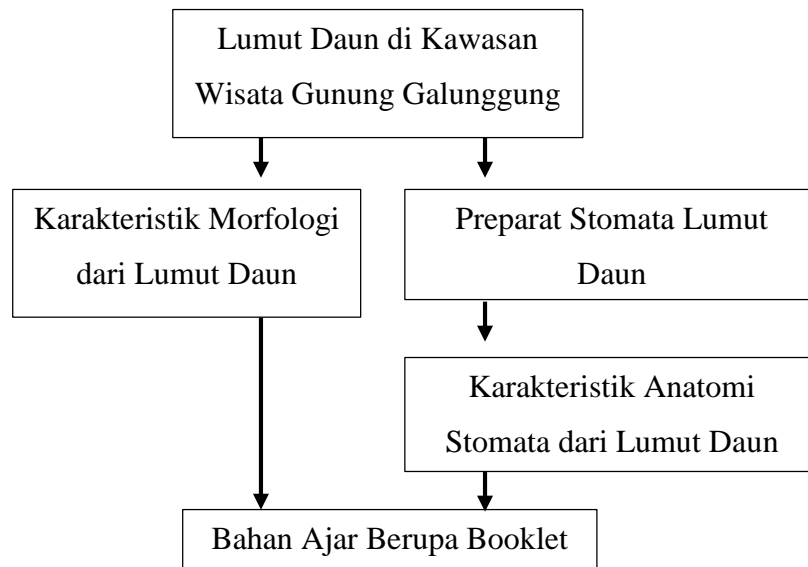
Selain keanekaragaman lumut daun di kawasan wisata Gunung Galunggung, terdapat pula penelitian mengenai keanekaragaman lumut daun yang terdapat di kawasan pegunungan lain yang ada di Jawa Barat. Pada kawasan hutan alam Pameungpeuk, Taman Nasional Gunung Halimun, mencatat adanya 78 jenis lumut daun yang tergolong ke dalam 47 *genus* dan 20 *family*. Keanekaragaman ini cukup tinggi (Windadri, 2017). Sedangkan untuk kawasan Cagar Alam Gunung Papandayan, Garut, terekam 51 jenis lumut daun yang tergolong dalam 14 *family* dan 30 *genus*, dengan Dicranaceae merupakan *family* yang dominan ditemukan di kawasan tersebut.

## **2.3. Kerangka Konseptual**

Kawasan wisata Gunung Galunggung merupakan kawasan yang terletak di Kabupaten Tasikmalaya. Kawasan tersebut memiliki keanekaragaman lumut daun. Penelitian terdahulu mengidentifikasi beberapa jenis lumut daun di kawasan tersebut. Hal ini dapat membuktikan bahwa kawasan tersebut adalah habitat yang cocok bagi lumut daun. Lumut daun sendiri merupakan tumbuhan tingkat rendah yang biasanya memiliki habitat yang basah dan lembab. Lumut daun memiliki

substrat berupa tanah, bebatuan, pohon, ataupun kayu yang sudah lapuk. Lumut daun merupakan biomonitor dan bioindikator pencemaran udara. Selain itu, keberadaan lumut daun sangat penting dalam keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, keanekaragaman lumut daun menjadi salah satu ilmu pengetahuan. Namun, saat ini penelitian mengenai lumut daun hanya berfokus pada identifikasi dan eksplorasi. Sangat sedikit sekali informasi mengenai karakteristik lumut daun berdasarkan morfologi dan anatomi. Terlebih, fakta bahwa lumut daun memiliki stomata yang keberadaannya hanya terdapat pada sporangium, berbeda dengan tumbuhan tingkat tinggi. Maka penelitian ini akan berfokus pada karakteristik morfologi dan anatomi stomata pada lumut daun.

Informasi mengenai karakteristik morfologi lumut daun dapat menjadi acuan untuk memudahkan identifikasi lumut daun. Sedangkan informasi mengenai karakteristik anatomi stomata pada lumut daun dapat menjadi kajian lebih lanjut untuk banyak kepentingan seperti fisiologi dan evolusi, sekalipun keberadaan stomata masih belum menjadi faktor utama dalam penggolongan lumut daun. Berdasarkan uraian di atas, dengan melakukan pengamatan secara langsung di kawasan wisata gunung galunggung dan dengan bantuan mikroskop akan menjadi solusi untuk mengetahui karakteristik morfologi dan anatomi stomata pada lumut daun. Hasil penelitian ini akan dihibahkan untuk pendidikan sebagai bahan ajar biologi berbentuk booklet. Informasi mengenai karakteristik morfologi dan anatomi lumut daun akan terlampir dalam sebuah booklet (**Gambar 2.20**).



**Gambar 2.20.** Kerangka konseptual

## **2.4. Pertanyaan Penelitian**

- 2.4.1. Bagaimana karakteristik morfologi lumut daun yang ada di kawasan wisata Gunung Galunggung?
- 2.4.2. Bagaimana karakteristik anatomi stomata lumut daun yang ada di kawasan wisata Gunung Galunggung?
- 2.4.3. Bagaimana komponen abiotik di kawasan wisata gunung galunggung?
- 2.4.4. Bagaimana hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan ajar berbentuk booklet