# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## A. Kajian Teori

### 1. Hutan Pinus

#### a. Pengertian Hutan Pinus

Hutan pinus merupakan ekosistem hutan yang didominasi oleh tumbuhan dari genus Pinus yang termasuk dalam famili Pinaceae. Genus Pinus mencakup lebih dari 120 spesies yang tersebar di berbagai belahan dunia, mulai dari kawasan boreal di belahan bumi utara hingga kawasan tropis dan subtropis di Asia Tenggara dan Amerika Tengah. Secara taksonomi, pohon pinus tergolong dalam divisi Gymnospermae, yaitu kelompok tumbuhan berbiji terbuka yang bijinya tidak terbungkus dalam buah sejati, melainkan terdapat pada sisik-sisik strobilus atau runjung (cone). Karakteristik taksonomi ini membedakan pinus secara fundamental dari kelompok tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae) yang mendominasi sebagian besar hutan tropis di Indonesia (Sudewi & Saleh, 2025)

Hutan pinus memiliki karakteristik struktur vegetasi yang khas dan berbeda dari hutan hujan tropis pada umumnya. Secara morfologis, pohon pinus memiliki batang yang tumbuh tegak lurus dengan ketinggian yang dapat mencapai 20–40 meter, kulit batang yang tebal dan bertekstur kasar atau bersisik, serta daun yang berbentuk jarum (acicular) dengan panjang bervariasi antara 10–20 cm dan tumbuh dalam berkas (fascicle) yang terdiri dari 2–5 helai jarum per berkas, tergantung spesiesnya. Bentuk daun jarum ini merupakan adaptasi terhadap kondisi lingkungan tertentu, termasuk kemampuan mengurangi kehilangan air (transpirasi) dan menahan beban salju di daerah beriklim dingin, meskipun di kawasan tropis fungsi adaptifnya lebih berkaitan dengan efisiensi penggunaan cahaya dan mineral (Hayatun et al., 2023)

Secara ekologis, hutan pinus berperan penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan, khususnya di daerah lereng

dan pegunungan. Sistem perakaran pohon pinus yang dalam dan menyebar luas mampu meningkatkan stabilitas tanah secara signifikan, sehingga mengurangi laju erosi tanah akibat aliran air permukaan dan longsor. Akar pinus yang menembus jauh ke dalam lapisan tanah juga berfungsi sebagai jangkar biologis yang memperkuat struktur lereng dan menahan massa tanah dari pergerakan. Selain itu, lapisan serasah yang tebal berfungsi sebagai penyerap air dan pengendali aliran permukaan, sehingga membantu menjaga ketersediaan air tanah dan kelembapan lingkungan. Curah hujan yang jatuh ke lantai hutan akan tertahan oleh serasah, kemudian meresap perlahan ke dalam tanah, sehingga mengurangi risiko banjir dan erosi (Hairiah et al., 2024).

Kondisi lingkungan hutan pinus yang relatif stabil, lembap, dan teduh menjadikan ekosistem ini sebagai habitat potensial bagi tumbuhan Bryophyta. Lumut umumnya memanfaatkan berbagai substrat yang tersedia di hutan pinus, seperti permukaan tanah lembap, serasah, batu, dan batang pohon(Eman & Sari, 2022). Intensitas cahaya rendah hingga sedang serta kelembapan tinggi merupakan faktor utama yang mendukung pertumbuhan dan keanekaragaman lumut di bawah tegakan pinus. Keberadaan lumut di ekosistem hutan pinus bukan sekadar penanda kondisi lingkungan yang baik, tetapi juga memiliki peran fungsional dalam ekosistem tersebut. Lumut mampu menyerap dan menyimpan air dalam jumlah besar beberapa spesies dapat menyerap air hingga 20 kali berat kering tubuhnya sehingga berkontribusi pada kelembapan lantai hutan dan ketersediaan air bagi organisme lain yang hidup di sekitarnya (Sallata, 2023).

Dengan demikian, hutan pinus tidak hanya berfungsi sebagai kawasan produksi dan konservasi, tetapi juga sebagai ekosistem pendukung keanekaragaman hayati tingkat rendah, khususnya Bryophyta, yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem lereng dan siklus air di kawasan pegunungan. Pemahaman yang mendalam tentang pengertian, karakteristik ekologis, dan fungsi hutan pinus

menjadi landasan teoritis yang esensial dalam mengkaji keberadaan dan keanekaragaman Bryophyta sebagai komponen biologis yang tidak terpisahkan dari ekosistem hutan pinus secara keseluruhan.

**b. Kondisi Lingkungan Hutan Pinus Alas Veenuz Trawas**

Kawasan Hutan Pinus Alas Veenuz Trawas Mojokerto terletak di wilayah lereng pegunungan dengan ketinggian sedang hingga tinggi, yang secara ekologis memiliki karakteristik lingkungan khas daerah pegunungan. Kondisi topografi yang berbukit hingga miring menyebabkan kawasan ini memiliki suhu udara relatif lebih rendah dibandingkan daerah dataran rendah, serta tingkat kelembapan udara yang cenderung tinggi. Faktor-faktor tersebut berpengaruh besar terhadap kestabilan mikroklimat hutan dan mendukung keberlangsungan organisme yang memerlukan kondisi lembap, termasuk tumbuhan lumut (Karyati, 2019)

Tajuk pohon pinus yang relatif terbuka memungkinkan cahaya matahari masuk ke lantai hutan dalam intensitas rendah hingga sedang. Cahaya yang terfilter oleh tajuk pinus menciptakan kondisi pencahayaan yang optimal bagi pertumbuhan Bryophyta, karena lumut umumnya tidak toleran terhadap intensitas cahaya tinggi dan kekeringan. Selain itu, lapisan serasah pinus yang tebal berperan penting dalam mempertahankan kelembapan tanah, menurunkan fluktuasi suhu, serta menyediakan substrat tambahan bagi pertumbuhan lumut tertentu (Glime, 2024).

Kawasan hutan pinus Alas Veenuz juga memiliki variasi substrat yang cukup beragam, seperti tanah lembap, serasah daun, bebatuan, serta batang dan kulit pohon pinus. Keberagaman substrat ini menciptakan mikrohabitat yang berbeda-beda, sehingga memungkinkan berbagai jenis Bryophyta tumbuh sesuai dengan preferensi ekologinya masing-masing. Lumut epifit umumnya tumbuh pada batang dan kulit pohon, sedangkan lumut terestrial banyak ditemukan pada tanah dan serasah yang lembap (Ningsih et al., 2021)

Keanekaragaman mikrohabitat yang tersedia di kawasan Hutan Pinus Alas Veenuz, seperti area dengan tingkat kelembapan tinggi, lokasi yang terlindung dari sinar matahari langsung, serta permukaan substrat yang bervariasi, berkontribusi terhadap tingginya variasi jenis Bryophyta yang dapat ditemukan. Perbedaan kondisi mikroklimat antar lokasi di dalam kawasan hutan memungkinkan terbentuknya komunitas lumut yang beragam dan mencerminkan kualitas lingkungan hutan tersebut (Sungkai et al., 2024).

Dengan demikian, kondisi lingkungan Hutan Pinus Alas Veenuz Trawas Mojokerto secara keseluruhan sangat mendukung pertumbuhan dan keanekaragaman lumut. Faktor ketinggian tempat, suhu, kelembapan, intensitas cahaya, serta ketersediaan mikrohabitat menjadikan kawasan ini sebagai lokasi yang potensial untuk kajian keanekaragaman Bryophyta sekaligus sebagai sumber belajar berbasis lingkungan dalam pembelajaran biologi.

## 2. Lumut (Bryophyta)

### a. Pengertian Lumut

Bryophyta merupakan kelompok tumbuhan tingkat rendah yang belum memiliki jaringan pembuluh sejati berupa xilem dan floem. Kelompok tumbuhan ini memiliki ukuran relatif kecil, tidak memiliki akar, batang, dan daun sejati, serta hidup menempel pada berbagai jenis substrat seperti tanah, batu, serasah, dan batang pohon. Ketiadaan jaringan pembuluh menyebabkan proses penyerapan air dan unsur hara pada lumut berlangsung secara difusi langsung melalui permukaan tubuhnya. Lumut berkembang biak dengan menggunakan spora dan umumnya tumbuh di lingkungan yang lembap dan teduh, karena kondisi tersebut sangat mendukung kelangsungan hidup dan proses fisiologisnya (Husain et al., 2022)

Meskipun tergolong tumbuhan tingkat rendah, Bryophyta memiliki kompleksitas struktural yang lebih tinggi dibandingkan ganggang (Algae). Tubuh lumut umumnya sudah menunjukkan diferensiasi sel menjadi bagian yang menyerupai batang dan

daun, meskipun secara anatomi belum memiliki jaringan pembuluh sejati. Pada sebagian besar kelompok lumut, terdapat sel-sel khusus yang berfungsi meneruskan air dan hasil fotosintesis secara terbatas, yang dikenal sebagai hidroid dan leptoid. Keberadaan struktur ini menjadikan Bryophyta sebagai kelompok tumbuhan yang memiliki sistem transportasi sederhana namun fungsional, sebagai bentuk adaptasi terhadap kehidupan di darat (Endang & Pramesthi, 2020).

Bryophyta merupakan kelompok tumbuhan tingkat rendah yang belum memiliki jaringan pembuluh sejati berupa xilem dan floem. Kelompok tumbuhan ini memiliki ukuran relatif kecil, tidak memiliki akar, batang, dan daun sejati, serta hidup menempel pada berbagai jenis substrat seperti tanah, batu, serasah, dan batang pohon. Ketiadaan jaringan pembuluh menyebabkan proses penyerapan air dan unsur hara pada lumut berlangsung secara difusi langsung melalui permukaan tubuhnya. Lumut berkembang biak dengan menggunakan spora dan umumnya tumbuh di lingkungan yang lembap dan teduh, karena kondisi tersebut sangat mendukung kelangsungan hidup dan proses fisiologisnya .

Secara evolusioner, Bryophyta menempati posisi penting sebagai kelompok tumbuhan peralihan antara tumbuhan air dan tumbuhan darat. Hal ini ditunjukkan oleh ketergantungan lumut terhadap air dalam proses reproduksi seksualnya, khususnya pada pergerakan spermatozoid menuju sel telur. Selain itu, struktur tubuh lumut yang sederhana mencerminkan tahap awal adaptasi tumbuhan terhadap kehidupan darat. Meskipun demikian, lumut memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap dan mempertahankan air, sehingga berperan penting dalam menjaga kelembapan lingkungan dan kestabilan ekosistem mikro. Keberadaan lumut di kawasan hutan dan lereng pegunungan berkontribusi dalam mengurangi penguapan air, mencegah erosi permukaan, serta menciptakan kondisi mikrohabitat yang mendukung kehidupan organisme lain (Glime, 2017).

**b. Klasifikasi Lumut**

Klasifikasi lumut berdasarkan taksonomi tumbuhan terdiri atas tingkatan Kingdom, Divisi, Kelas, Ordo, Famili, Genus, hingga Spesies. Secara sistematika, tumbuhan lumut termasuk ke dalam Kingdom Plantae dan dikelompokkan dalam divisi Bryophyta. Bryophyta merupakan kelompok tumbuhan darat tingkat rendah yang tidak memiliki jaringan pembuluh sejati (non-vaskular) dan mengalami pergiliran keturunan dengan fase gametofit sebagai fase dominan. Berdasarkan perbedaan morfologi, struktur tubuh, serta karakteristik fase gametofit dan sporofitnya, Bryophyta secara umum dikelompokkan menjadi tiga kelas utama, yaitu Hepaticopsida (lumut hati), Anthocerotopsida (lumut tanduk), dan Bryopsida (lumut daun). Berikut klasifikasi tumbuhan lumut Menurut Lukitasari, (2019):

Klasifikasi tumbuhan lumut daun :

Kingdom : Plantae
Divisi : Bryophyta
Kelas : Bryopsida
Ordo : Hypnales
Famili : Hypnaceae
Genus : Hypnum
Spesies : *Hypnum cupressiforme*

Klasifikasi tumbuhan lumut hati:

Kingdom : Plantae
Divisi : Bryophyta
Kelas : Hepaticopsida
Ordo : Marchantiales

Famili : Marchantiaceae

Genus : Marchantia

Spesies : *Marchantia emarginata*

Klasifikasi tumbuhan lumut tanduk :

Kingdom : Plantae
Divisi : Anthocerotophyta
Kelas : Anthocerotopsida
Ordo : Anthocerotales
Famili : Anthocerotaceae
Genus : Anthoceros
Spesies : *Anthoceros punctatus*

Bryophyta secara umum dikelompokkan menjadi tiga kelas utama berdasarkan perbedaan morfologi, struktur tubuh, serta karakteristik fase gametofit dan sporofitnya. Ketiga kelas tersebut menunjukkan tingkat adaptasi yang berbeda terhadap lingkungan darat dan memiliki peranan ekologis yang khas, yaitu Hepaticopsida, Anthocerotopsida, dan Bryopsida.

1. **Hepaticopsida (Lumut Hati)**

   Hepaticopsida atau lumut hati merupakan salah satu kelas dalam Divisi Bryophyta yang memiliki tubuh berbentuk talus pipih atau menyerupai daun-daun kecil yang tersusun dalam dua hingga tiga baris. Kelompok tumbuhan ini tidak memiliki jaringan pembuluh sejati (xilem dan floem), sehingga proses pengangkutan air dan zat hara berlangsung secara difusi dari satu sel ke sel lainnya. Lumut hati memiliki rizoid uniseluler yang berfungsi sebagai alat pelekat dan membantu penyerapan air dari lingkungan. Sebagian besar spesies Hepaticopsida hidup di habitat yang lembap dan teduh, seperti tanah basah, batuan yang lembap, batang pohon, serta kayu yang telah lapuk. Kondisi lingkungan yang lembap sangat penting karena proses reproduksi seksualnya memerlukan

air sebagai media pergerakan spermatozoid menuju sel telur (Tjitrosoepomo, 2011).

Fase gametofit merupakan fase yang dominan dalam siklus hidup Hepaticopsida. Pada fase ini, tumbuhan menghasilkan alat reproduksi berupa anteridium sebagai penghasil gamet jantan dan arkegonium sebagai penghasil gamet betina. Setelah terjadi fertilisasi, zigot akan berkembang menjadi sporofit yang terdiri atas kaki (foot), tangkai pendek (seta), dan kapsul spora (sporangium). Sporofit pada lumut hati memiliki ukuran relatif kecil dan keberadaannya sangat bergantung pada gametofit untuk memperoleh nutrisi. Di dalam kapsul spora terdapat sel-sel elater yang berfungsi membantu penyebaran spora ketika kapsul matang dan pecah. Mekanisme ini menjadi salah satu ciri khas yang membedakan lumut hati dari kelompok lumut lainnya (Nugroho et al., 2019).

Selain reproduk si generatif melalui pembentukan spora, Hepaticopsida juga mampu berkembang biak secara vegetatif. Salah satu cara reproduksi vegetatif yang umum ditemukan adalah melalui pembentukan gemmae yang terdapat dalam struktur khusus yang disebut mangkuk gemma (gemma cup), terutama pada genus Marchantia. Gemmae yang terlepas akan tumbuh menjadi individu baru apabila jatuh pada tempat yang sesuai. Secara ekologis, lumut hati berperan dalam menjaga kelembapan lingkungan, membantu proses pembentukan tanah, serta menjadi organisme pionir pada habitat yang baru terbentuk atau mengalami gangguan. Keberadaan Hepaticopsida juga sering dimanfaatkan sebagai bioindikator kondisi lingkungan karena sangat sensitif terhadap perubahan kelembapan dan kualitas habitat (Glime, 2017).



Gambar 2.1 Lumut Hati
Sumber:(https://share.google/mKOrZLByc3h4brt5Y)

**2. Anthocerotopsida (Lumut Tanduk)**

Anthocerotopsida Anthocerotopsida atau lumut tanduk merupakan salah satu kelompok Bryophyta yang memiliki ciri khas berupa gametofit berbentuk talus pipih berwarna hijau dengan sporofit memanjang menyerupai tanduk. Talus pada lumut tanduk umumnya berbentuk roset dan tumbuh menempel pada permukaan tanah yang lembap. Berbeda dengan lumut hati dan lumut daun, sel-sel talus Anthocerotopsida biasanya hanya memiliki satu kloroplas berukuran besar yang dilengkapi pirenoid, suatu struktur yang berperan dalam proses fotosintesis dan lebih umum ditemukan pada alga. Karakteristik ini menjadikan Anthocerotopsida memiliki posisi yang unik di antara kelompok bryofita lainnya (Wardianti & Lestari, 2022).

Siklus hidup Anthocerotopsida didominasi oleh fase gametofit, sedangkan sporofit berkembang setelah terjadinya fertilisasi di dalam arkegonium. Sporofit lumut

tanduk berbentuk silindris memanjang menyerupai tanduk dan dapat tumbuh dalam waktu yang relatif lama karena memiliki jaringan meristem aktif di bagian pangkalnya. Pertumbuhan yang berlangsung terus-menerus ini memungkinkan sporofit menghasilkan spora secara bertahap selama periode tertentu. Selain itu, sporofit Anthocerotopsida memiliki stomata yang berfungsi dalam pertukaran gas dengan lingkungan, suatu karakter yang menunjukkan tingkat kompleksitas struktur yang lebih tinggi dibandingkan sebagian kelompok lumut lainnya. Spora yang telah matang akan dilepaskan melalui celah memanjang pada kapsul sporofit dan kemudian tersebar oleh bantuan angin maupun air (Tjitrosoepomo, 2011).

Secara ekologis, lumut tanduk banyak ditemukan pada tanah yang lembap, tepi sungai, lahan terbuka yang teduh, maupun daerah dengan tingkat kelembapan tinggi. Kelompok ini berperan sebagai organisme pionir yang membantu menjaga kestabilan permukaan tanah, mempertahankan kelembapan mikrohabitat, serta mendukung siklus hara dalam ekosistem. Beberapa spesies Anthocerotopsida juga diketahui bersimbiosis dengan sianobakteri dari genus *Nostoc* yang mampu melakukan fiksasi nitrogen, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kesuburan tanah. Kehadiran lumut tanduk dalam suatu habitat sering digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan yang masih relatif alami dan memiliki ketersediaan air yang cukup untuk mendukung pertumbuhan bryofita (Riyani et al., 2024).



Gambar 2.2 Lumut Tanduk
Sumber: (https://share.google/qPzeouAUTmGRwazg8)

**3. Bryopsida (Lumut Daun)**

Bryopsida Bryopsida atau lumut daun merupakan kelas terbesar dalam Divisi Bryophyta dan memiliki tingkat keanekaragaman spesies yang paling tinggi dibandingkan kelompok lumut lainnya. Tumbuhan ini memiliki struktur tubuh yang lebih kompleks dengan diferensiasi menjadi batang semu (kauloid), daun semu (filoid), dan rizoid multisel yang berfungsi sebagai alat pelekat pada substrat. Meskipun telah memiliki bentuk yang menyerupai akar, batang, dan daun, Bryopsida tetap tidak memiliki jaringan pembuluh sejati sehingga proses transportasi air dan unsur hara berlangsung secara sederhana melalui difusi dan kapilaritas. Bentuk tubuh yang menyerupai tumbuhan tingkat tinggi menjadikan kelompok ini lebih mudah dikenali dan banyak ditemukan di berbagai habitat daratan yang lembap (Tjitrosoepomo, 2011).

Siklus hidup Bryopsida didominasi oleh fase gametofit yang berwarna hijau dan melakukan fotosintesis. Setelah terjadi fertilisasi, terbentuk sporofit yang terdiri atas kaki (foot), tangkai sporofit (seta), dan kapsul spora (sporangium). Kapsul spora pada lumut daun memiliki struktur yang lebih berkembang dibandingkan kelompok

bryofita lainnya, seperti operkulum (tutup kapsul) dan gigi peristom yang berfungsi mengatur pelepasan spora secara bertahap sesuai kondisi lingkungan. Mekanisme tersebut meningkatkan efektivitas penyebaran spora sehingga mendukung keberhasilan reproduksi dan penyebaran Bryopsida pada berbagai habitat. Contoh genus yang termasuk dalam kelompok ini antara lain *Funaria*, *Polytrichum*, *Sphagnum*, dan *Hypnum* (Husain et al., 2022).

Secara ekologis, Bryopsida memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Lumut daun mampu menyerap dan menyimpan air dalam jumlah besar sehingga membantu mempertahankan kelembapan lingkungan serta mengurangi risiko erosi tanah. Kelompok ini juga berperan sebagai organisme pionir pada habitat yang baru terbentuk, membantu proses pelapukan batuan, dan berkontribusi dalam pembentukan lapisan tanah. Bryopsida dapat tumbuh pada berbagai jenis substrat, seperti tanah, batu, kayu lapuk, serasah, hingga batang pohon, sehingga memiliki sebaran yang sangat luas. Di kawasan hutan, termasuk hutan pinus, lumut daun sering mendominasi komunitas lumut karena mampu beradaptasi pada kondisi cahaya rendah hingga sedang serta kelembapan udara yang tinggi. Secara global, Bryopsida mencakup sekitar 40 ordo dengan lebih dari 10.000 spesies, menjadikannya kelompok lumut terbesar dan paling beragam dalam Divisi Bryophyta (Silitonga et al., 2024).



Gambar 2.3 Lumut Daun

Sumber:(https://share.google/yvfUpVGMgHSI2Ue0A)

**c. Ciri-ciri Morfologi Lumut**

Lumut (Bryophyta) merupakan kelompok tumbuhan darat yang tergolong tumbuhan peralihan antara tumbuhan air dan tumbuhan darat tingkat tinggi. Secara morfologi, lumut memiliki ciri-ciri umum yang membedakannya dari kelompok tumbuhan lain. Lumut tidak memiliki jaringan pembuluh sejati (tidak memiliki xilem dan floem yang terdiferensiasi dengan baik), sehingga termasuk dalam kelompok tumbuhan avaskuler (Gita Suci Rahmadani, 2023)

Tubuh lumut umumnya berukuran kecil, berkisar antara beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter. Struktur tubuh lumut terdiri atas bagian menyerupai akar yang disebut rizoid, bagian menyerupai batang (kaulidium), dan bagian menyerupai daun (filidium). Rizoid berfungsi untuk melekat pada substrat dan menyerap air serta mineral, namun berbeda dengan akar sejati karena tidak memiliki jaringan pembuluh (Riyani et al., 2024).

Lumut hidup di habitat yang lembap, seperti pada batuan berlumut, tanah basah, kulit pohon, dan tepi sungai. Distribusi lumut sangat luas, mulai dari daerah tropis hingga kutub, meskipun keanekaragamannya paling tinggi ditemukan

di daerah tropis yang lembap Berdasarkan ciri morfologinya, divisi Bryophyta dibagi menjadi tiga kelas utama, yaitu Hepaticopsida (lumut hati), Anthocerotopsida (lumut tanduk), dan Bryopsida (lumut daun).

**1. Lumut Hati (Hepaticopsida)**

**a. Ciri-Ciri Morfologi Lumut Hati**

Lumut hati (kelas Hepaticopsida) mendapat namanya karena bentuk tubuhnya yang pipih dan berlekuk-lekuk menyerupai lobus hati manusia. Lumut hati merupakan kelompok lumut yang paling primitif di antara ketiga kelas Bryophyta. Berdasarkan struktur tubuhnya, lumut hati dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu lumut hati bertalus (thallose liverworts) dan lumut hati berfoliosa (leafy liverworts). Lumut hati bertalus memiliki tubuh berbentuk talus yang pipih, lebar, dan bercabang dikotom. Permukaan dorsal talus umumnya memiliki pori-pori udara (air pores) yang berfungsi dalam pertukaran gas. Contoh lumut hati bertalus yang paling dikenal adalah Marchantia polymorpha. Pada Marchantia, talus terbagi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan dorsal yang mengandung klorofil dan lapisan ventral yang berisi sel-sel parenkim penyimpan (Wulandari et al., 2025)

Lumut hati berfoliosa memiliki struktur tubuh yang lebih kompleks dengan susunan menyerupai tumbuhan berdaun. Pada kelompok ini, terdapat struktur menyerupai batang (kaulidium) yang dilengkapi dengan dua baris daun lateral (amfigastrium) dan satu baris daun ventral yang lebih kecil. Daun-daun tersebut tidak memiliki tulang daun (costa/midrib) dan tersusun secara lateral dalam dua baris. Rizoid pada lumut hati tersusun dari sel-sel berdinding tipis dan tidak bercabang, berbentuk seperti rambut halus. Rizoid tumbuh dari permukaan ventral talus dan berfungsi melekatkan talus pada substrat serta

menyerap air dan nutrisi dari lingkungan. Sel-sel rizoid pada lumut hati bersifat uniseluler, yang merupakan salah satu ciri pembeda dari lumut daun yang memiliki rizoid multiseluler (Fauziyah et al., 2025)

Organ reproduksi seksual pada lumut hati dibedakan menjadi anteridium (organ penghasil sel kelamin jantan/spermatozoid) dan arkegonium (organ penghasil sel kelamin betina/ovum). Pada Marchantia polymorpha, anteridium tersusun pada struktur khusus berbentuk seperti payung yang disebut anteridiofora, sedangkan arkegonium terdapat pada arkegoniofora yang memiliki bentuk berbeda. Pada lumut hati berfoliosa, anteridium dan arkegonium terdapat pada percabangan khusus (Burangrang & Barat, 2025).

**b. Metagenesis Lumut Hati**

Lumut hati mengalami metagenesis (pergiliran keturunan) yang khas, yaitu pergantian antara generasi gametofit (haploid, n) yang dominan dan generasi sporofit (diploid, 2n) yang bergantung pada gametofit. Siklus hidup lumut hati dimulai dari spora yang berkecambah membentuk protonema, kemudian berkembang menjadi gametofit dewasa yang merupakan fase dominan dalam kehidupan lumut hati (Lutfiah, 2025).

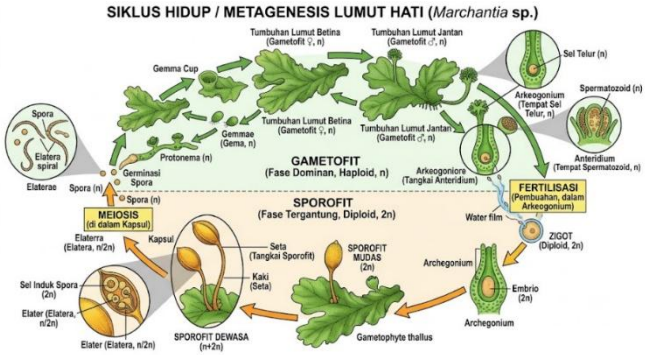
Fase gametofit pada lumut hati berupa talus hijau yang pipih dan sering kali dapat dilihat dengan mata telanjang. Gametofit yang telah dewasa akan membentuk organ-organ reproduksi seksual. Anteridium menghasilkan spermatozoid biflagela yang berenang menuju arkegonium dalam kondisi lingkungan yang basah. Pembuahan (fertilisasi) terjadi ketika spermatozoid bertemu dengan ovum di dalam arkegonium, menghasilkan zigot diploid (2n) (Raven et al., 2021).

Zigot yang terbentuk kemudian berkembang menjadi embrio dan selanjutnya menjadi sporofit.

Sporofit lumut hati terdiri atas tiga bagian utama, yaitu: (1) haustorium atau kaki, yang tertanam dalam jaringan gametofit dan berfungsi menyerap nutrisi; (2) seta, yaitu tangkai sporofit yang pendek atau bahkan tidak ada; dan (3) kapsul spora (sporogonium) yang mengandung sporosit. Di dalam kapsul spora, sel-sel sporosit mengalami meiosis menghasilkan spora haploid (n) (Gradstein et al., 2021).

Kapsul spora pada lumut hati umumnya dilengkapi dengan elatera, yaitu sel-sel berbentuk spiral yang peka terhadap perubahan kelembapan dan berfungsi membantu penyebaran spora. Ketika kapsul spora masak dan pecah, spora dilepaskan ke udara. Spora yang jatuh di tempat yang sesuai akan berkecambah membentuk protonema, yang kemudian tumbuh menjadi gametofit baru, demikian siklus berlanjut

Selain reproduksi seksual, lumut hati juga dapat bereproduksi secara vegetatif melalui fragmentasi talus dan melalui gemma (kuncup vegetatif). Pada Marchantia, gemma terbentuk di dalam struktur berbentuk cawan yang disebut gemma cup (cupula). Gemma yang telah masak akan terlepas dan tumbuh menjadi individu baru, memungkinkan penyebaran koloni yang cepat pada kondisi lingkungan yang menguntungkan




Gambar 2.5 Metagenesis Lumut Hati

Sumber: https://share.google/kQErqHJwG6PFpIllt

**2. Lumut Tanduk (Anthocerotopsida)**

**a. Ciri-Ciri Morfologi Lumut Tanduk**

Lumut tanduk (kelas Anthocerotopsida) mendapat namanya dari bentuk sporofitnya yang menyerupai tanduk atau jarum yang memanjang keluar dari gametofit. Kelompok lumut ini dianggap sebagai kelompok yang paling berbeda di antara ketiga kelas Bryophyta karena memiliki beberapa ciri unik yang tidak ditemukan pada kelompok lumut lainnya Gametofit lumut tanduk berupa talus yang pipih, tidak berdiferensiasi menjadi batang dan daun, dengan tepi yang berlekuk-lekuk tidak beraturan. Permukaan talus tidak memiliki pori-pori udara seperti yang ditemukan pada Marchantia, namun memiliki rongga-rongga internal yang berisi lendir (mucilage cavities). Rongga-rongga berlendir ini sering kali dihuni oleh cyanobacteria (terutama Nostoc) yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen atmosfer, sehingga membentuk hubungan simbiosis yang menguntungkan (Agustin et al., 2023)

Salah satu ciri paling khas dari lumut tanduk adalah struktur selnya. Setiap sel talus lumut tanduk umumnya hanya mengandung satu atau beberapa

kloroplas berukuran besar yang masing-masing mengandung pirenoid. Pirenoid adalah struktur yang terlibat dalam fiksasi karbon dan sintesis pati, suatu ciri yang menyerupai alga hijau dan dianggap sebagai ciri primitif  Rizoid pada lumut tanduk bersifat uniseluler dan tumbuh dari permukaan ventral talus. Talus melekat erat pada substrat melalui rizoid-rizoid ini. Lumut tanduk umumnya hidup pada tanah yang lembap, tepi sungai, atau dinding yang basah, dan sering ditemukan di daerah tropis dan subtropis

Organ reproduksi seksual lumut tanduk berupa anteridium dan arkegonium yang tertanam di dalam jaringan talus (endogenik/embedded). Anteridium terbentuk di dalam rongga anteridial (androsporangia) pada permukaan dorsal talus. Arkegonium juga terbentuk secara endogenik di dalam jaringan talus, berbeda dengan lumut hati dan lumut daun yang memiliki arkegonium yang menonjol keluar dari permukaan talus (Stotler & Crandall-Stotler, 2005).

Sporofit lumut tanduk merupakan ciri morfologi yang paling mencolok dan menjadi dasar penamaannya. Sporofit berbentuk kapsul silindris memanjang yang tegak, menyerupai tanduk, dengan panjang yang dapat mencapai beberapa sentimeter. Sporofit ini memiliki kloroplas dan mampu melakukan fotosintesis secara mandiri, tidak sepenuhnya bergantung pada gametofit seperti pada kelompok lumut lainnya (Shaw & Goffinet, 2000).




Gambar 2.6 Morfologi Lumut Tanduk
Sumber: https://share.google/IFL68otjYW03Cv4ax

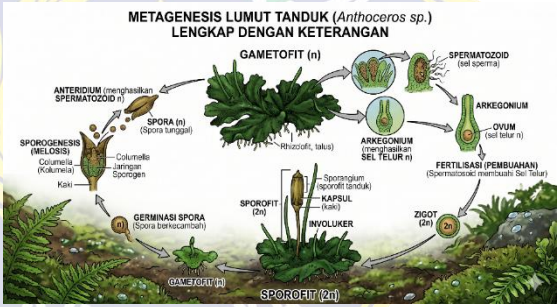
**b. Metagenesis Lumut Tanduk**

Siklus hidup lumut tanduk juga menunjukkan metagenesis dengan pergantian antara fase gametofit (n) yang dominan dan fase sporofit (2n). Namun, terdapat beberapa keunikan dalam metagenesis lumut tanduk yang membedakannya dari kedua kelas lumut lainnya (Raven et al., 2005). Siklus hidup dimulai ketika spora haploid (n) berkecambah dan membentuk protonema sederhana yang kemudian berkembang menjadi gametofit berupa talus dewasa. Gametofit yang telah dewasa membentuk anteridium di dalam rongga anteridial pada permukaan dorsal talus. Spermatozoid biflagela dilepaskan dari anteridium dan berenang melalui lapisan air menuju arkegonium, yang juga tertanam di dalam jaringan talus(Aulia, 2021).

Pembuahan menghasilkan zigot diploid (2n) yang berkembang di dalam jaringan gametofit. Zigot tumbuh membentuk embrio sporofit yang kemudian berkembang menjadi sporofit dewasa berbentuk tanduk. Sporofit lumut tanduk memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan sporofit lumut hati, terdiri atas kaki (haustorium), meristem basal, dan kapsul spora yang memanjang. Salah satu keunikan metagenesis lumut tanduk adalah adanya meristem basal pada sporofit. Meristem basal ini memungkinkan sporofit terus tumbuh dari pangkalnya sementara

bagian apeks yang lebih tua terus mengalami pematangan spora dan dehisens (pecah). Proses ini memungkinkan satu individu sporofit untuk menghasilkan spora dalam jangka waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan sporofit lumut hati maupun lumut daun (Kenrick & Crane, 1997).

Di dalam kapsul spora yang memanjang, sel-sel sporosit mengalami meiosis menghasilkan spora haploid (n) bersama dengan pseudoelatera (sel-sel steril berbentuk tidak teratur yang membantu penyebaran spora). Ketika kapsul spora masak, ia akan terbelah dari ujung ke pangkal (dehisens apikal) menjadi dua katup, melepaskan spora ke udara. Spora yang berkecambah akan memulai kembali fase gametofit, melengkapi siklus metagenesis (Ilhamdi & Sukarso, 2026).




Gambar 2.7 Metagenesis Lumut Tanduk

Sumber: https://share.google/qdpPJY62g6z9KxL7i

### 3. Lumut Daun (Bryopsida)

#### a. Ciri-Ciri Morfologi Lumut Daun

Lumut daun (kelas Bryopsida atau Musci) merupakan kelompok lumut terbesar dan paling beragam di antara ketiga kelas Bryophyta, dengan jumlah spesies yang diperkirakan mencapai lebih dari 10.000 spesies yang tersebar di seluruh dunia. Lumut daun memiliki struktur tubuh yang paling kompleks di antara ketiga kelas lumut, sehingga paling mudah

dikenali karena memiliki diferensiasi morfologi yang menyerupai tumbuhan berpembuluh (Tjitrosoepomo, 2014).

Gametofit lumut daun terdiri atas struktur yang menyerupai batang (kaulidium) yang tegak atau merayap, dilengkapi dengan daun-daun (filidium) yang tersusun spiral mengelilingi kaulidium. Kaulidium dapat bercabang atau tidak bercabang, dengan panjang bervariasi dari beberapa milimeter hingga puluhan sentimeter. Pada beberapa jenis lumut daun, kaulidium dilengkapi dengan jaringan yang menyerupai jaringan pembuluh sederhana (hidroid dan leptoid) meskipun belum terdiferensiasi sempurna seperti pada tumbuhan berpembuluh sejati (Gradstein et al., 2011).

Daun (filidium) lumut daun umumnya berukuran kecil, pipih, dan tersusun spiral di sekitar kaulidium. Salah satu ciri paling khas lumut daun adalah adanya tulang daun tengah (costa atau midrib) yang memanjang di sepanjang daun, sebuah ciri yang tidak ditemukan pada lumut hati bertalus. Costa merupakan jaringan penguat yang terdiri atas sel-sel yang lebih panjang dan lebih tebal dibandingkan sel-sel lamina daun (Raven et al., 2005).

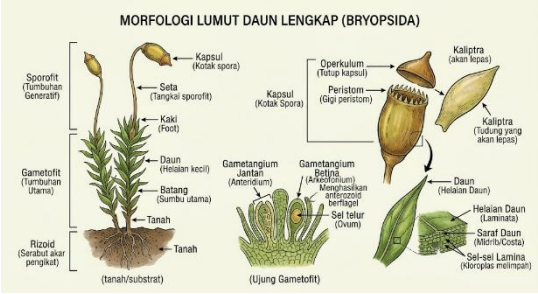
Rizoid pada lumut daun bersifat multiseluler dengan sekat-sekat melintang, berbeda dengan rizoid lumut hati dan lumut tanduk yang uniseluler. Rizoid tumbuh dari permukaan kaulidium bagian bawah dan berfungsi melekatkan lumut pada substrat serta menyerap air dan mineral. Beberapa jenis lumut daun juga memiliki parafilia (paraphyllia), yaitu struktur kecil berbentuk daun yang terdapat di antara daun-daun pada kaulidium (Bold et al., 1987).

Berdasarkan orientasi pertumbuhan kaulidiumnya, lumut daun dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu: (1) Acrocarpous mosses, lumut daun yang memiliki organ reproduksi di ujung batang

utama, dengan pertumbuhan tegak (erect); dan (2) Pleurocarpous mosses, lumut daun yang memiliki organ reproduksi pada cabang-cabang lateral, dengan pertumbuhan cenderung merayap atau merambat (prostrate). Pembedaan ini memiliki implikasi penting dalam taksonomi lumut daun (Shaw & Goffinet, 2000).

Struktur sel daun lumut daun sangat bervariasi dan merupakan karakter taksonomi yang penting. Pada beberapa genus, seperti Sphagnum (lumut gambut), terdapat dua tipe sel yang berbeda: sel hidup berkloroplas (klorosit) dan sel mati tanpa isi (hyalosit atau sel hialin). Sel-sel hialin pada Sphagnum bersifat seperti spons dan dapat menyerap air dalam jumlah besar, menjadikan Sphagnum sebagai tumbuhan yang memiliki kapasitas menyimpan air yang sangat tinggi (Schofield, 1985).

Organ reproduksi seksual pada lumut daun terdapat di bagian pucuk kaulidium (pada acrocarpous mosses) atau pada cabang lateral (pada pleurocarpous mosses). Anteridium berbentuk seperti gada (club-shaped) dengan dinding selapis sel, dikelilingi oleh filamen-filamen steril (parafisis). Arkegonium berbentuk seperti botol dengan leher panjang (venter dan leher/neck) yang juga dikelilingi parafisis. Kumpulan anteridium disebut androsium, sedangkan kumpulan arkegonium disebut gynaesium atau perigonium (Kenrick & Crane, 1997).



Gambar 2.8 Morfologi Lumut Daun

Sumber: https://share.google/xJoq5mBT7gdjm1njw

**b. Metagenesis Lumut Daun**

Metagenesis lumut daun merupakan proses yang khas dan berbeda dari metagenesis pada lumut hati dan lumut tanduk. Seperti halnya lumut lain, siklus hidup lumut daun didominasi oleh fase gametofit (n), sedangkan fase sporofit (2n) lebih singkat dan bergantung pada gametofit untuk memperoleh nutrisi (Campbell & Reece, 2018).

Siklus hidup lumut daun dimulai dari spora haploid (n) yang berkecambah pada kondisi lingkungan yang sesuai. Perkecambahan spora menghasilkan filamen bercabang yang disebut protonema (tunggal: protonema; jamak: protonemata). Protonema yang menyerupai alga filamentous ini berwarna hijau dan melakukan fotosintesis. Dari protonema, kuncup-kuncup (buds) akan tumbuh dan berkembang menjadi gametofit dewasa berbentuk seperti tumbuhan kecil dengan kaulidium dan filidium (Tjitrosoepomo, 2014).

Gametofit dewasa yang telah matang akan membentuk organ-organ reproduksi seksual. Pada cuaca basah atau lembap, spermatozoid biflagela dilepaskan dari anteridium dan berenang melalui lapisan air menuju arkegonium yang terdapat pada individu atau cabang yang berbeda (pada spesies dioesis) atau pada individu yang sama (pada spesies monoesis). Spermatozoid memasuki arkegonium melalui leher (neck) dan membuahi ovum yang berada di dalam venter, menghasilkan zigot diploid (2n) (Raveni et al., 2022).

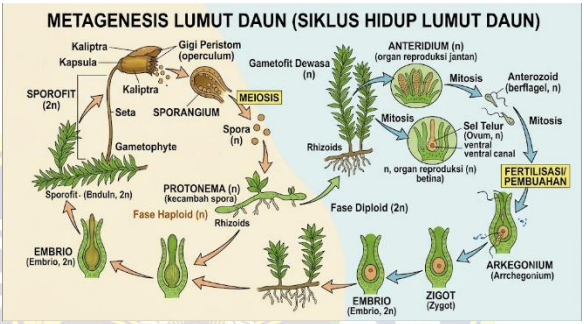
Zigot berkembang di dalam venter arkegonium membentuk embrio sporofit yang terus tumbuh. Dinding arkegonium ikut berkembang membungkus sporofit muda, membentuk struktur yang disebut kaliptra (calyptra). Kaliptra berfungsi melindungi kapsul spora yang sedang berkembang. Sporofit lumut daun dewasa terdiri atas tiga bagian: (1) kaki/haustorium yang tertanam dalam jaringan gametofit betina sebagai penghubung nutrisi; (2) seta (tangkai) yang mengangkat kapsul spora ke posisi yang menguntungkan untuk penyebaran; dan (3) kapsul spora (sporangium/sporogonium) tempat spora diproduksi melalui meiosis (Bold et al., 1987).

Di dalam kapsul spora, sel-sel induk spora (sporosit) mengalami meiosis menghasilkan spora haploid (n). Selain spora, di dalam kapsul spora juga terdapat sel-sel steril yang membentuk kolumela (columella), yaitu kolom jaringan steril yang memanjang di bagian tengah kapsul. Kapsul spora lumut daun dilengkapi dengan struktur peristom (peristome), yaitu deretan gigi-gigi higroskopis yang mengelilingi mulut kapsul. Peristom berfungsi mengatur pelepasan spora sesuai dengan kondisi kelembapan lingkungan (Gradstein et al., 2011).

Ketika kondisi kering, gigi-gigi peristom membuka sehingga spora dapat keluar dan disebarkan oleh angin. Sebaliknya, ketika kondisi lembap, gigi-gigi peristom menutup kembali. Spora yang masak dilepaskan melalui mulut kapsul setelah kaliptra dan operkulum (tutup kapsul) terlepas. Spora yang berkecambah di tempat yang sesuai akan memulai kembali siklus metagenesis dengan membentuk protonema, kemudian gametofit baru (Schofield, 1985).

Selain reproduksi seksual, lumut daun juga dapat bereproduksi secara vegetatif melalui berbagai

mekanisme, antara lain melalui fragmentasi kaulidium, pembentukan propagula (struktur vegetatif khusus), tunas adventif pada daun, dan regenerasi dari sel-sel protonema. Kemampuan reproduksi vegetatif ini memungkinkan lumut daun untuk menyebar dan membentuk koloni yang luas di habitatnya (Shaw & Goffinet, 2000).




Gambar 2.9 Metagenesis Lumut Daun
Sumber: https://share.google/H5gZdNBTolQqLpQzx

**4. Lumut sebagai Bioindikator Lingkungan**

Lumut dikenal sebagai bioindikator lingkungan karena memiliki kemampuan menyerap air dan zat terlarut secara langsung dari atmosfer dan substrat tanpa melalui sistem pembuluh khusus. Sifat tersebut menyebabkan lumut sangat peka terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan kelembapan, suhu, intensitas cahaya, serta tingkat pencemaran udara dan tanah. Oleh karena itu, perubahan komposisi dan keanekaragaman lumut dapat mencerminkan kondisi lingkungan suatu kawasan (Putra et al., 2015).

Selain itu, lumut memiliki daya adaptasi yang terbatas terhadap kondisi lingkungan ekstrem, sehingga keberadaan atau ketiadaan jenis lumut tertentu dapat digunakan sebagai indikator kualitas habitat. Di kawasan hutan dan lereng pegunungan,

lumut berperan dalam menjaga kelembapan tanah, mengurangi erosi permukaan, serta menciptakan mikrohabitat yang mendukung organisme lain (Sari, 2024). Dengan demikian, keanekaragaman lumut tidak hanya mencerminkan kualitas lingkungan, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap kestabilan ekosistem .

Secara morfofisiologi, lumut (Bryophyta) tergolong tumbuhan non-vaskuler yang tidak memiliki akar sejati, batang, maupun jaringan pengangkut. Seluruh permukaan tubuhnya berfungsi langsung dalam penyerapan air dan unsur hara dari lingkungan sekitar. Karakteristik ini menjadikan lumut sangat rentan sekaligus responsif terhadap perubahan kualitas udara dan substrat tempat tumbuhnya. Zechmeister et al. (2025) menyatakan bahwa karena tidak memiliki kutikula permanen dan sistem akar konvensional, lumut menyerap air, unsur hara, maupun zat toksik langsung melalui seluruh permukaan tumbuhan dari udara dan presipitasi, serta dalam kadar terbatas dari substrat melalui efek kapiler. Sifat inilah yang menjadi dasar pemanfaatan lumut sebagai biomonitor lingkungan yang andal.

Lumut menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap berbagai polutan udara, terutama sulfur dioksida ($SO_2$) dan senyawa nitrogen ($NO_x$). Paparan $SO_2$ menyebabkan degradasi klorofil pada lumut sehingga menurunkan laju fotosintesis dan pada tingkat terparah dapat menyebabkan kematian tumbuhan. Govindapyari et al. (2021) dalam kajiannya menyebutkan bahwa lumut memenuhi semua karakteristik yang diperlukan sebagai bioindikator yang baik, yaitu: sensitif terhadap agen pencemar, berdiam di area yang diamati, memiliki distribusi luas, siklus hidup yang memadai, serta mampu mengakumulasi polutan di dalam tubuhnya. De Sloover dan LeBlanc (1970) mengembangkan Indeks Kemurnian Atmosfer (Index of Atmospheric Purity/IAP) berdasarkan data tutupan lumut dan lumut kerak epifit untuk mengukur tingkat pencemaran udara secara biologis. Indeks ini kemudian banyak diterapkan di berbagai wilayah, termasuk kawasan perkotaan dan industri di Eropa, Asia, dan Amerika.

Selain sensitif terhadap polutan gas, lumut juga diakui sebagai biomonitor efektif untuk pencemaran logam berat. (Tania et al. 2018) menjelaskan bahwa bryophyta, termasuk lumut daun (mosses) dan lumut hati (liverworts), telah semakin dikenal sebagai bioindikator kontaminasi logam berat yang efektif karena rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, kapasitas penyerapan logam yang efisien, serta sensitivitas tinggi terhadap perubahan lingkungan. Sebagai tumbuhan non-vaskuler yang menyerap air dan unsur hara langsung dari lingkungannya, lumut sangat rentan terhadap penyerapan logam berat (Bellini et al., 2021). Studi di kawasan air terjun Doi Suthep-Pui, Thailand, membuktikan bahwa komunitas lumut dapat dijadikan bioindikator logam berat di ekosistem terrestrial dan akuatik secara bersamaan; kehadiran spesies tertentu seperti Scopelophila cataractae terbukti menjadi indikator ekologi yang paling sensitif terhadap akumulasi logam berat di aliran sungai

Mekanisme penyerapan logam berat pada lumut terjadi melalui dua jalur utama. Pertama, melalui permukaan daun dan batang yang berkontak langsung dengan udara maupun air hujan yang mengandung logam terlarut. Kedua, melalui rhizoid, yaitu struktur mirip akar berupa filamen pendek yang meningkatkan situs pertukaran kation logam berat, sehingga menjadikan lumut cocok untuk memantau pencemaran tanah dalam di lingkungan. Rachna dan Vashistha (2017) menambahkan bahwa efektivitas lumut sebagai biomonitor polusi berasal dari laju absorpsi yang cepat, kemampuan menyerap zat melalui seluruh permukaan tanaman tanpa bergantung pada akar, serta kapasitas diferensial dalam mengakumulasi spektrum logam yang luas.

Penelitian biomonitoring udara perkotaan juga membuktikan keunggulan lumut sebagai indikator lingkungan. Isrowati et al. (2023) dalam studi di Taman Wisata Alam Suranadi dan Ruang Terbuka Hijau Udayana, Lombok, menemukan bahwa keanekaragaman lumut di kawasan yang lebih alami dan jauh dari aktivitas manusia lebih tinggi dibandingkan kawasan perkotaan. Hal ini menunjukkan korelasi

positif antara keanekaragaman lumut dan kualitas udara lingkungan setempat. Lebih lanjut, penelitian di Kota Wuhan, Tiongkok, yang menggunakan metode IAP pada lumut epifit menemukan bahwa jumlah spesies lumut dan nilai IAP lebih rendah secara signifikan di kawasan perkotaan dibandingkan kawasan pinggiran, menandai bahwa polusi udara perkotaan berdampak langsung terhadap keberadaan

Keberadaan komunitas lumut di suatu kawasan juga mencerminkan kualitas habitat secara keseluruhan. Bawaihaty et al. (2014) dalam penelitiannya di Hutan Sesaot, Lombok Nusa Tenggara Barat, melaporkan bahwa lumut memiliki peran ekologi penting dalam ekosistem hutan, di antaranya sebagai penahan air (water holding capacity), habitat bagi organisme lain, media perkecambahan bagi tumbuhan tingkat tinggi, bioindikator pencemaran lingkungan, dan sebagai tumbuhan pionir. Temuan ini sejalan dengan pernyataan (Nadhifah et al,. 2020) bahwa lumut merupakan komponen utama keanekaragaman hayati pada ekosistem hutan basah, lahan basah, pegunungan tinggi, dan ekosistem tundra. Penelitian di Taman Nasional Situ Gunung, Sukabumi, juga menemukan bahwa lumut terdistribusi pada rentang ketinggian 920–1.025 mdpl dengan kelembapan rata-rata 90%, mempertegas bahwa distribusi lumut sangat dipengaruhi oleh faktor abiotik lingkungan

Distribusi dan keanekaragaman lumut sangat ditentukan oleh faktor-faktor abiotik dan biotik lingkungan. Faktor abiotik yang berperan meliputi pH, suhu udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan kelembapan udara. Adapun faktor biotik yang berpengaruh mencakup kerapatan kanopi pohon dan jenis substrat tempat tumbuh (Dewi et al., 2023). Lumut umumnya tumbuh optimal pada kisaran suhu 10–30°C dan kelembapan antara 70–98%. Perubahan pada salah satu faktor tersebut, terutama akibat aktivitas manusia atau pencemaran, dapat langsung mengubah komposisi spesies lumut di suatu kawasan. Oleh karena itu, penurunan keanekaragaman lumut di suatu area

dapat menjadi sinyal awal degradasi lingkungan sebelum dampaknya terdeteksi oleh metode kimia konvensional

Selain berfungsi sebagai indikator pencemaran lokal, lumut juga semakin banyak digunakan untuk memantau perubahan deposisi nitrogen atmosfer akibat perubahan iklim global. Penelitian di kawasan pegunungan Jepang menggunakan spesies lumut tunggal Hylocomium splendens sebagai bioindikator deposisi nitrogen atmosfer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan nitrogen (%N) pada lumut berkorelasi negatif dengan ketinggian lokasi pengambilan sampel, mengindikasikan bahwa deposisi nitrogen lebih tinggi di kawasan yang lebih dekat dengan sumber emisi (Hafidhuddin et al., 2022). Temuan ini memperluas fungsi lumut dari sekadar indikator pencemaran lokal menjadi instrumen pemantauan perubahan lingkungan berskala regional hingga global.

Secara ekologis, keberadaan lumut memberikan kontribusi nyata dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Secara ekologi, lumut berperan penting bagi ekosistem karena dapat menyerap air, mempertahankan kelembaban, dan menyerap polutan. Selain itu, lumut dapat mengakumulasi polutan dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan kelompok tumbuhan lain yang hidup di habitat serupa. Peran lumut terestrial sebagai komponen penunjang hutan tropis juga mencakup fungsi memperlambat erosi, membentuk lantai hutan, dan menyediakan oksigen melalui fotosintesis (Irawati et al., 2024). Kemampuan lumut menyimpan air dalam jumlah besar dan melepaskannya secara bertahap ke aliran air menjadikannya pelindung alami terhadap banjir bandang, erosi, dan tanah longsor di kawasan lereng dan pegunungan

Dalam konteks penelitian ini, keberadaan dan keanekaragaman lumut di Hutan Pinus Alas Veenuz Trawas Mojokerto dapat digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan lereng, sekaligus sebagai dasar pengembangan materi pembelajaran biologi konservasi berbasis lingkungan lokal. Kawasan hutan pinus dengan tutupan vegetasi yang rapat dan kelembapan yang tinggi merupakan habitat yang ideal bagi

pertumbuhan beragam jenis lumut. Perubahan dalam komposisi dan kelimpahan lumut di kawasan tersebut akan secara langsung mencerminkan kualitas udara, kondisi tanah, serta tingkat gangguan ekologis yang terjadi, sehingga menjadikan lumut sebagai instrumen biomonitoring yang mudah diakses, tidak memerlukan alat analisis kimiawi mahal, dan relevan untuk diintegrasikan ke dalam kurikulum biologi konservasi tingkat lokal maupun nasional.

## 5. Keanekaragaman Hayati

### a. Pengertian Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati merupakan variasi makhluk hidup yang mencakup keanekaragaman gen, spesies, dan ekosistem. Keanekaragaman gen menunjukkan variasi genetik dalam satu spesies, keanekaragaman spesies menggambarkan variasi antar jenis organisme dalam suatu wilayah, sedangkan keanekaragaman ekosistem menunjukkan variasi tipe ekosistem beserta interaksi antara komponen biotik dan abiotiknya. Tingkat keanekaragaman hayati suatu wilayah mencerminkan kestabilan ekosistem serta kualitas lingkungan hidup di wilayah tersebut (Sutoyo, 2010).

Ekosistem dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi umumnya memiliki kestabilan ekologi yang lebih baik, karena adanya interaksi kompleks antar organisme yang saling mendukung. Sebaliknya, ekosistem dengan keanekaragaman hayati rendah cenderung lebih rentan terhadap gangguan lingkungan, seperti perubahan iklim, aktivitas manusia, dan pencemaran. Oleh karena itu, kajian keanekaragaman hayati sangat penting dalam upaya konservasi dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan (Halawa, 2024).

### b. Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman digunakan untuk mengetahui tingkat variasi dan kelimpahan spesies dalam suatu komunitas organisme. Indeks ini tidak hanya memperhitungkan jumlah spesies yang ditemukan, tetapi juga proporsi atau kemerataan individu pada setiap spesies. Salah satu indeks keanekaragaman

yang paling sering digunakan dalam kajian ekologi adalah indeks Shannon-Wiener (H') Menurut Magurran(1988) dalam (Hidayat et al., 2017) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$H' = -\sum(P_i \ln P_i)$$

Keterangan:
H' = Indeks keanekaragaman
pip_ipi = Proporsi individu spesies ke-i terhadap jumlah individu total

Tabel 2.1 Kriteria nilai indeks keanekaragaman

| No | Nilai Indeks | Keanekaragaman |
|---|---|---|
| 1. | H' < 1 | Rendah |
| 2. | 1 ≤ H' ≤ 3 | Sedang |
| 3. | H' > 3 | Tinggi |

Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener banyak digunakan dalam penelitian ekologi karena mampu memberikan gambaran yang relatif akurat mengenai struktur komunitas dan kestabilan suatu ekosistem, termasuk dalam kajian keanekaragaman lumut di kawasan hutan.

**c. Indeks Dominansi**

Indeks dominansi digunakan untuk mengetahui sejauh mana suatu spesies mendominasi komunitas organisme dalam suatu ekosistem. Dominansi yang tinggi oleh satu spesies tertentu mengindikasikan bahwa komunitas tersebut kurang stabil dan keanekaragamannya rendah, karena satu spesies mampu menguasai sumber daya yang tersedia. Sebaliknya, jika tidak ada spesies yang mendominasi secara signifikan, maka

komunitas dianggap memiliki kemerataan yang tinggi Menurut Magurran(1988) dalam (Hidayat et al., 2017)

Indeks dominansi yang umum digunakan dalam kajian ekologi adalah Indeks Dominansi Simpson (C), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C = \sum (P_i)^2$$

**Keterangan:**

- C = Indeks dominansi lumut (Bryophyta)
- $P_i$ = Proporsi jumlah individu atau koloni lumut jenis ke-i terhadap jumlah total individu

Tabel 3.2 Kriteria penilaian indeks dominansi Simpson

| Rentang | Kriteria |
|---|---|
| $0 < C < 0,5$ | Dominansi rendah |
| $0,5 \leq C \leq 0,75$ | Dominansi sedang |
| $0,75 < C \leq 1,0$ | Dominansi tinggi |

**6. Media Pembelajaran Biologi Herbarium**

**a. Pengertian Media Pembelajaran**

Media pembelajaran merupakan segala sesuatu yang dapat digunakan sebagai perantara dalam menyampaikan pesan atau informasi dari pendidik kepada peserta didik sehingga dapat merangsang perhatian, minat, pikiran, dan perasaan peserta didik dalam kegiatan belajar untuk mencapai tujuan pembelajaran (Arsyad, 2014). Dalam pembelajaran biologi, media pembelajaran memiliki peran yang sangat penting karena materi biologi banyak berhubungan dengan objek nyata yang ada di lingkungan sekitar, sehingga diperlukan media yang mampu

menghadirkan objek tersebut secara konkret dan autentik ke dalam ruang belajar peserta didik.

Menurut Daryanto (2016), media pembelajaran diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuk dan cara penyajiannya, yaitu media visual, media audio, media audio-visual, dan media realia. Media realia merupakan benda nyata yang digunakan langsung dalam pembelajaran tanpa modifikasi bentuk, sehingga peserta didik dapat mengamati objek pembelajaran secara langsung dan autentik. Salah satu bentuk media realia dalam pembelajaran biologi adalah spesimen awetan, yang memungkinkan peserta didik mengamati morfologi dan karakteristik organisme secara nyata di dalam kelas.

Penggunaan media pembelajaran yang tepat sangat berpengaruh terhadap efektivitas proses belajar mengajar. Penelitian menunjukkan bahwa peserta didik yang belajar menggunakan media konkret dan kontekstual cenderung memiliki pemahaman konsep yang lebih baik, daya ingat yang lebih kuat, serta motivasi belajar yang lebih tinggi dibandingkan peserta didik yang hanya menerima pembelajaran secara verbal atau tekstual (Sudjana & Rivai, 2017). Hal ini sejalan dengan teori belajar Edgar Dale yang dikenal dengan "Kerucut Pengalaman Dale", yang menyatakan bahwa pengalaman belajar langsung melalui benda nyata merupakan pengalaman belajar yang paling efektif dan berkesan bagi peserta didik.

**b. Fungsi dan Peran Media Pembelajaran**

Media pembelajaran memiliki beberapa fungsi utama dalam proses pembelajaran, antara lain sebagai berikut. Pertama, fungsi atensi, yaitu media mampu menarik dan mengarahkan perhatian peserta didik untuk berkonsentrasi pada isi pelajaran. Kedua, fungsi afektif, yaitu media dapat menggugah emosi dan sikap peserta didik terhadap materi yang dipelajari. Ketiga, fungsi kognitif, yaitu media membantu peserta didik memperoleh dan mengingat informasi yang terkandung dalam materi pembelajaran.

Keempat, fungsi kompensatoris, yaitu media dapat mengakomodasi peserta didik yang lemah dalam menerima dan memahami isi pelajaran yang disajikan secara verbal (Arsyad, 2014).

Dalam konteks pembelajaran biologi, media pembelajaran berbasis objek nyata seperti awetan spesimen memiliki fungsi yang sangat strategis. Media awetan memungkinkan peserta didik untuk melakukan pengamatan langsung terhadap morfologi organisme, membandingkan karakteristik antar spesies, serta membangun pemahaman konsep secara induktif berdasarkan pengamatan empiris. Proses pengamatan langsung ini sesuai dengan pendekatan saintifik yang menjadi landasan Kurikulum Merdeka, di mana peserta didik didorong untuk aktif mengamati, menanya, mencoba, menalar, dan mengomunikasikan hasil belajarnya.

**c. Pengertian Awetan sebagai Media Pembelajaran**

Media awetan adalah spesimen organisme atau bagian dari organisme yang telah mengalami proses pengawetan sehingga bentuk, struktur, dan karakteristik morfologinya dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang relatif lama. Media awetan digunakan sebagai sarana pembelajaran yang memungkinkan peserta didik mengamati objek biologi secara langsung dan berulang tanpa bergantung pada ketersediaan spesimen segar di alam (Budiwati, 2020).

Berdasarkan teknik pembuatannya, media awetan dalam pembelajaran biologi dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu: (1) awetan kering, yaitu spesimen yang diawetkan melalui proses pengeringan tanpa bahan kimia tambahan, seperti herbarium dan insektarium; (2) awetan basah, yaitu spesimen yang diawetkan dalam larutan pengawet seperti formalin atau alkohol; serta (3) awetan resin atau plastinasi, yaitu spesimen yang diawetkan dengan cara dituangkan atau diresapi resin sintetis sehingga membentuk benda padat transparan yang memperlihatkan struktur internal organisme (Ramdani, 2020).

Penggunaan media awetan dalam pembelajaran biologi terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep peserta didik terhadap materi yang bersifat konkret, seperti morfologi, anatomi, dan keanekaragaman makhluk hidup. Selain itu, media awetan bersifat tahan lama, mudah disimpan, dan dapat digunakan secara berulang dalam berbagai kesempatan pembelajaran, sehingga dinilai efisien dan ekonomis sebagai sumber belajar jangka panjang di sekolah.

**d. Herbarium sebagai Awetan Tumbuhan**

Herbarium merupakan salah satu bentuk media awetan tumbuhan yang dibuat dengan cara mengeringkan dan mengawetkan spesimen tumbuhan pada lembaran kertas khusus secara permanen. Kata herbarium berasal dari bahasa Latin herba yang berarti tumbuhan, dan secara istilah merujuk pada koleksi spesimen tumbuhan yang dikeringkan, dilabeli, dan disimpan secara sistematis untuk keperluan ilmiah maupun pendidikan. Teknik pembuatan herbarium telah digunakan sejak lama dalam dunia botani dan taksonomi tumbuhan sebagai metode standar untuk mendokumentasikan dan mengidentifikasi spesies tumbuhan dari berbagai penjuru dunia (Sari & Wahyuni, 2022).

Herbarium dibedakan menjadi Include dua jenis berdasarkan kelembapan spesimennya, yaitu herbarium kering dan herbarium basah. Herbarium kering dibuat dengan mengeringkan spesimen tumbuhan secara alami hingga kadar air dalam jaringan tumbuhan berkurang secara signifikan, kemudian spesimen ditempelkan pada lembar herbarium. Herbarium basah dibuat dengan menyimpan spesimen dalam larutan pengawet, umumnya berupa campuran alkohol dan formalin, sehingga warna dan tekstur asli spesimen dapat dipertahankan lebih baik. Untuk spesimen lumut (Bryophyta), teknik herbarium kering lebih umum digunakan karena ukurannya yang kecil dan teksturnya yang relatif tipis memudahkan proses

pengeringan tanpa merusak struktur morfologi (Murni et al., 2015).

Secara teknis, pembuatan herbarium lumut (Bryophyta) Menurut (Keceng & Madiun, 2023) dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis, yaitu:

1. Pengambilan spesimen lumut dari lapangan berikut substratnya menggunakan pisau atau spatula, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel yang mencantumkan informasi lokasi, tanggal, dan habitat pengambilan.
2. Pembersihan spesimen dari kotoran, tanah, dan organisme lain yang menempel dilakukan secara hati-hati menggunakan kuas halus atau pinset agar struktur morfologi lumut tidak rusak.
3. Pengeringan spesimen dilakukan dengan meletakkan lumut di antara lembaran kertas koran yang diselingi karton bergelombang, kemudian dikempa menggunakan alat pengempa atau buku berat selama beberapa hari hingga spesimen benar-benar kering. Pengeringan dilakukan di tempat yang teduh dengan sirkulasi udara yang baik, menghindari paparan sinar matahari langsung agar warna dan struktur morfologi spesimen tetap terjaga dengan baik.
4. Penempelan spesimen pada lembar herbarium yang terbuat dari kertas tebal atau karton putih berukuran standar (29,7 × 42 cm), menggunakan lem khusus atau pita perekat arsip yang tahan lama.
5. Pelabelan, yaitu setiap lembar herbarium dilengkapi dengan label identifikasi yang memuat informasi lengkap meliputi nama ilmiah spesies, nama famili, lokasi pengambilan (termasuk koordinat GPS apabila tersedia), tanggal koleksi, nama kolektor, substrat tempat tumbuh, serta kondisi lingkungan di lokasi pengambilan.

6. Laminasi atau pelapisan menggunakan plastik laminating untuk melindungi spesimen dari kerusakan akibat kelembapan, serangga, and penanganan berulang

**e. Keterkaitan Herbarium Lumut dengan Materi Pembelajaran Biologi di Sekolah**

Dalam kurikulum biologi tingkat SMA, materi keanekaragaman hayati dan tumbuhan tingkat rendah (Bryophyta) merupakan bagian penting yang dipelajari oleh peserta didik. Standar kompetensi yang harus dicapai peserta didik mencakup kemampuan mengidentifikasi ciri-ciri morfologi tumbuhan lumut, memahami peran ekologisnya dalam ekosistem, serta mengaitkan keanekaragaman hayati dengan upaya konservasi lingkungan. Namun, keterbatasan sumber belajar yang kontekstual dan berbasis lingkungan lokal seringkali menjadi hambatan dalam pencapaian kompetensi tersebut secara optimal (Nurhidayati, 2024).

Herbarium lumut yang dibuat berdasarkan hasil penelitian keanekaragaman Bryophyta di Hutan Pinus Alas Veenuz Trawas Mojokerto memiliki nilai pedagogis yang tinggi sebagai media pembelajaran biologi di sekolah. Pertama, herbarium menyajikan spesimen nyata yang dapat diamati secara langsung oleh peserta didik, sehingga mendukung pembelajaran berbasis pengamatan yang sesuai dengan pendekatan saintifik. Kedua, herbarium yang dibuat dari spesimen lokal memberikan nilai kontekstual yang tinggi, karena peserta didik dapat mengaitkan materi pembelajaran dengan keanekaragaman hayati yang ada di lingkungan sekitarnya. Ketiga, informasi ekologi yang tertera pada label herbarium, seperti substrat, lokasi, dan kondisi lingkungan tempat tumbuh, dapat memperkaya pemahaman peserta didik tentang hubungan antara organisme dan habitatnya (Sari & Wahyuni, 2022).

**f. Manfaat Awetan Lumut dalam Pembelajaran Biologi**

Menurut (Irwanto, 2020), penggunaan awetan lumut sebagai media pembelajaran biologi memberikan berbagai keuntungan dalam kegiatan pembelajaran di sekolah.

Meningkatkan keterlibatan peserta didik secara langsung dalam pengamatan objek nyata sehingga mendorong pembelajaran aktif, konstruktif, dan bermakna sesuai dengan prinsip pembelajaran abad ke-21.

1) Memperjelas pemahaman konsep keanekaragaman hayati, morfologi Bryophyta, dan ekologi tumbuhan tingkat rendah yang bersifat abstrak apabila hanya dijelaskan secara verbal atau melalui gambar dua dimensi.
2) Mendukung pembelajaran kontekstual berbasis potensi lokal, sehingga peserta didik dapat mengaitkan materi pelajaran dengan kondisi keanekaragaman hayati nyata yang ada di lingkungan sekitarnya
3) Dapat digunakan secara berulang dalam jangka waktu yang lama sehingga efisien dan ekonomis sebagai sumber belajar yang berkelanjutan di sekolah.
4) Meningkatkan kepedulian lingkungan peserta didik terhadap pentingnya keanekaragaman tumbuhan tingkat rendah dan perlunya upaya konservasi ekosistem hutan, khususnya di kawasan pegunungan.
5) Meningkatkan keterampilan ilmiah peserta didik, terutama keterampilan observasi, klasifikasi, dan identifikasi spesies, yang merupakan kompetensi dasar dalam pembelajaran sains dan biologi.
6) Melengkapi keterbatasan laboratorium, karena tidak semua sekolah memiliki akses terhadap spesimen segar atau kawasan alam terbuka, sehingga herbarium menjadi solusi praktis yang memungkinkan kegiatan pengamatan morfologi tumbuhan tetap dapat dilakukan di dalam kelas.

## B. Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sehubungan dengan penelitian ini, antara lain keanekaragaman lumut (bryophyta) di hutan pinus alas veenuz Trawas Mojokerto dan pemanfaatannya sebagai media awetan pembelajaran di sekolah. Penelitian ini ditunjang dengan beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan dan dapat digunakan sebagai refrensi untuk penelitian ini. Adapun relevansinya diperkuat dengan beberapa penelitian berikut :

1. Penelitian (Sukamto, 2021) menunjukkan bahwa kawasan daerah aliran sungai memiliki keanekaragaman lumut yang tergolong sedang hingga tinggi. Berbagai substrat, seperti tanah, batu, dan batang pohon, serta menemukan lumut dari kelas Bryopsida dan Hepaticopsida. Kondisi lingkungan yang lembap dan teduh berpengaruh besar terhadap distribusi lumut
2. Penelitian (Zahro, 2024) mengungkapkan bahwa di kawasan Puncak Badean ditemukan berbagai jenis tumbuhan lumut (Bryophyta) yang mencerminkan keanekaragaman hayati lokal dengan kondisi lingkungan yang lembap dan teduh. Data keanekaragaman lumut tersebut kemudian dikembangkan menjadi e-booklet pembelajaran yang dinyatakan valid, praktis, dan efektif.
3. Penelitian (Anastasya, 2026) menunjukkan bahwa, didapat berbagai jenis tumbuhan lumut (Bryophyta) yang mencerminkan keanekaragaman hayati lokal dengan kondisi lingkungan yang lembap. Data hasil riset tersebut kemudian dikembangkan menjadi e-book interaktif berbasis flipbook sebagai bahan ajar biologi.
4. Penelitian (Putri et al., 2023) menunjukkan bahwa di kawasan Taman Hutan Raya Ir. H. Djuanda ditemukan 10 spesies Bryophyta yang tumbuh pada substrat tanah dan batu. Penelitian ini mengungkap bahwa kondisi lingkungan yang lembap, teduh, dan memiliki ketersediaan air yang cukup

merupakan faktor penting yang mendukung pertumbuhan dan persebaran lumut di kawasan tersebut.

5. Penelitian (Riyani et al., 2024) menunjukkan bahwa lumut daun *Octoblepharum albidum* memiliki morfologi daun berbentuk tombak, berwarna hijau pucat, dan berkembang biak melalui spora. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa kelembapan lingkungan berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan reproduksi lumut.