

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Keanekaragaman Hayati

Indonesia merupakan negara kepulauan di wilayah tropis yang terletak diantara benua Asia dan Australia serta diapit oleh samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Negara ini memiliki sekitar 17.500 pulau dengan garis pantai +95.181 km dan luas wilayah sekitar 9 juta km² dan yang terdiri dari 2 juta km² daratan dan 7 juta km² lautan. Meskipun hanya mencakup sekitar 1,3% permukaan bumi, indonesia memiliki keanekaragaman yang tinggi yaitu sekitar 25% spesies tumbuhan berbunga di dunia atau sekitar 20.000 spesies dan 40% diantaranya merupakan tumbuhan endemik. Famili tumbuhan terbesar terdapat pada family Orchidaceae dengan jumlah +4000 spesies, Dipterocarpaceae 386 spesies, Myrtaceae dan Moraceae masing masing sekitar 500 spesies, dan Ericaceae sebanyak 737 spesies, termasuk Rhododendron dan Vaccinium (Kusmana et al., 2017)

Dalam ilmu botani, flora Indonesia termasuk kawasan Malesiana. Secara biogeografis, wilayah Indonesia menjadi pusat persebaran berbagai jenis tumbuhan di wilayah sumatra, Jawa-Bali, Kalimantan, Sulawesi, Maluku sampai papua. Selain itu, WHO, sekitar 20.000 spesies tumbuhan di dunia dimanfaatkan sebagai bahan obat, dan sekitar 20.000 spesies tumbuhan di dunia dimanfaatkan untuk pengobatan, dan sekitar 1.260 spesies terbukti memiliki khasiat medis (Sun et al., 2024). Meskipun indonesia memiliki keanekaragaman tumbuhan yang tinggi, pemanfaatan serta pemahamannya terhadap sumber daya masih belum optimal, karena baru sebagian kecil spesies yang telah diteliti dan dikembangkan.

Keanekaragaman hayati tumbuhan tidak hanya dapat diamati melalui perbedaan morfologi luar, tetapi juga dapat dikaji lebih mendalam melalui struktur anatomi pada organ tumbuhan, salah satunya adalah daun. Anatomi daun mencakup berbagai jaringan penyusun seperti epidermis, mesofil (parenkim, palisade, dan spons), serta jaringan pengangkut (Rizki Nisfi Ramdhini,

2021). Salah satu komponen penting dalam anatomi daun adalah epidermis yang dilengkapi dengan struktur tambahan berupa trikoma yang merupakan modifikasi sel epidermis yang berbentuk rambut, sisik, atau tonjoloan dengan variasi bentuk, ukuran dan fungsi. Berdasarkan strukturnya trikoma dibedakan trikoma non glandular yang berperan sebagai pelindung fisik terhadap lingkungan seperti herbivora, intensitas cahaya berlebih, dan kehilangan air sedangkan trikoma glandular berfungsi dalam sekresi senyawa metabolit sekunder (Cahyono et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian mengenai struktur trikoma pada daun menjadi relevan dalam mengkaji keanekaragaman hayati tumbuhan.

2. Zingiberaceae

Zingiberaceae merupakan kelompok tumbuhan herbal menahun yang memiliki rimpang berbentuk menyerupai umbi. Pada umumnya, tanaman zingiberaceae menghasilkan minyak atsiri yang mudah menguap dan memiliki aroma khas yang kuat (Arviani, et.al, 2024). Famili ini terdiri atas berbagai spesies yang banyak dimanfaatkan di Indonesia, seperti jahe (*Zingiber officinale*), lengkuas (*Alpinia galanga*), kunyit (*Curcuma longa*), kencur (*Kaempferia galanga*), temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), temu putih (*Curcuma zedoaria*), temu hitam (*Curcuma aeruginosa*), dan temu kunci (*Boesenbergia rotunda*), Lempuyang wangi (*Zingiber aromaticum*), Wresah (*Amomum dealbatum*), jahe emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*), jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*), jahe gajah (*Zingiber officinale* Roscoe) (Arviani, et.al, 2024). Keanekaragaman jenis ini menjadikan Zingiberaceae sebagai salah satu famili tumbuhan yang menarik untuk dikaji karena karakter strukturalnya dapat digunakan sebagai penanda diagnostik taksonomi serta memiliki kaitan langsung dengan fungsi fisiologis dan potensi bioaktif tumbuhan (Andini et al., 2020)

Secara umum, struktur morfologi vegetatif famili ini diuraikan sebagai berikut :

- a) Akar : Sistem perakaran umumnya berakar serabut yang berkembang menjadi rimpang. Akar cenderung tebal dan berperan penting dalam menyerap air serta unsur hara dari

tanah. selain itu akar sering berkaitan dengan rimpang yang mengalami pembesaran melalui umbi sebagai tempat cadangan makanan. Karakter tersebut memungkinkan tanaman tumbuh optimal di lingkungan lembab seperti hutan tropis, rawa, maupun daerah sekitar aliran sungai.

- b) Batang : Batang pada Zingiberaceae mengalami modifikasi rimpang yang berada dibawah permukaan tanah. rimpang tersebut memiliki aroma khas yang merupakan kandungan minyak atsiri dan umunya membesar menyerupai umbi. Selain batang sejati, terdapat bantang semu yang terbentuk dari pelepah daun yang tersusun rapat dan membungkus. Batang semu terlihat seperti batang tegak, meskipun secara truktur bukan batang sebenarnya. Pada beberapa jenis, bagian ini dapat tumbuh tegak dan tinggi yang bervariasi sesuai dengan spesiesnya
- c) Daun :Tersusun secara berseling atau mebentuk roset dibagian pangkal. Bentuk daun umumnya memanjang seperti lanset hingga elips dengan bagian ujung meruncing. Pola tulang daun dapat berupa menyirip atau sejajar. Tangkai daun relatif pendek sehingga terlihat seperti pelepah yang membungkus dan membentuk batang semu. Daun juga dilengkapi ligula sebagai ciri khas famili Zingiberaceae. Permukaan daun yang lebar akan mendukung proses fotosintesis. (Erwinsyah et al., 2022)

3. Anatomi (Daun) Tumbuhan

Daun merupakan organ utama yang berperan dalam proses fotosintesis pada tumbuhan, meskipun batang yang berwarna hijau juga dapat melakukan fotosintesis, tersusun atas helai daun (lamina) yang pipih dan tangkai daun (petiolus) yang menghubungkannya dengan batang (Mitchell, 2003). Selain itu, daun menjadi bagian penting tanaman karena mengandung klorofil yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses pembentukan makanan yang mendukung pertumbuhan tanaman (Ratnasari, 2008).

Daun adalah organ tumbuhan yang tersusun atas beberapa sistem jaringan, yaitu jaringan epidermis, jaringan dasar, dan

jaringan pembuluh (Fahn, 1995). Sistem jaringan epidermis merupakan sel tunggal yang menutupi seluruh permukaan tubuh tumbuhan muda. Sementara pada jaringan dasar terletak diantara epidermis dan jaringan pembuluh yang berperan menjalankan aktivitas metabolisme pada setiap organ tumbuhan.

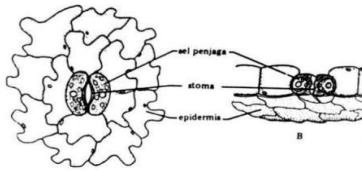
Jaringan pembuluh tersebar di seluruh bagian tumbuhan, namun susunannya dapat berbeda beda pada setiap organ (Mitchell, 2003).

a) Jaringan Epidermis

Epidermis merupakan lapisan terluar pada daun yang umumnya terdiri atas satu lapis sel. Jaringan ini berfungsi sebagai pelindung terhadap pengaruh lingkungan luar, berperan dalam proses pertukaran gas, serta bagian permukaan luarnya dilapisi oleh kutikula (Alfian, 2022). Epidermis merupakan lapisan terluar yang menyelimuti seluruh permukaan organ tumbuhan seperti daun, bunga, buah, biji, batang, dan akar (Sri Rejeki, 2023). Derivat epidermis pada daun meliputi stomata, trikoma, sel kipas yang terdapat pada permukaan atas (adaksial) dan permukaan bawah (abaksial) yang masing masing memiliki fungsi berbeda sesuai dengan kondisi lingkungannya (Sri Rejeki, 2023). Menurut (Anu et al., 2017). Berdasarkan fungsinya, jaringan epidermis dapat mengalami perkembangan dan modifikasi struktur khusus, seperti stomata dan trikoma.

1. Stomata

Stomata merupakan pori-pori pada jaringan epidermis yang diapit oleh dua sel khusus yang disebut sebagai sel penutup (Gambar 2.1). Struktur ini dapat ditemukan pada berbagai organ tumbuhan, namun paling banyak terdapat pada daun. Berdasarkan susunan sel epidermis di sekitarnya, stomata dibedakan menjadi enam tipe, yaitu anomositik, anisositik, parasitik, diasitik, aktinositik, dan siklositik (Tias salira, 2021)



Gambar 2.1. Stomata pada daun (Sumber : (Rizki Nisfi Ramdhini, 2021)

2. Trikoma

Trikoma merupakan struktur berupa rambut yang berasal dari sel epidermis dengan bentuk, susunan, dan fungsi yang beragam. Berdasarkan sel penyusunannya, trikoma dibedakan menjadi dua, yaitu uniseluler dan multiseluler. Trikoma uniseluler tersusun atas satu sel, sedangkan trikoma multiseluler terdiri dari banyak sel (Sutrian, 1992). Trikoma dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu trikoma non glandular yang tidak menghasilkan sekresi dan trikoma glandular yang berfungsi menghasilkan zat sekresi (Ainun Mardhiyah, Firda Yanti Ismail, 2023).

b) Jaringan Dasar

Mesofil merupakan bagian utama pada daun karena banyak mengandung kloroplas serta memiliki ruang antar sel yang cukup luas. Jaringan ini tersusun atas dua tipe yaitu jaringan tiang (palisade) dan jaringan bunga karang (spons) (Hidayat, 1995).

1. Jaringan Tiang (Palisade)

Jaringan palisade banyak mengandung kloroplas yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi fotosintesis (Parada et al., 2021). Jaringan palisade umumnya terletak tepat dibawah epidermis dan dapat tersusun atas satu atau beberapa lapisan sel. Sel berbentuk memanjang dan tersusun tegak lurus terhadap permukaan daun. Pada jaringan palisade mengandung banyak kloroplas yang tersebar di sepanjang dinding sel (Fahn, 1995).

2. Jaringan Bunga Karang (Spons)

Jaringan spons terletak dibawah jaringan palisade dan memiliki bentuk sel yang lebih bervariasi. Jaringan ini memiliki ruang antar sel yang luas dibandingkan dengan

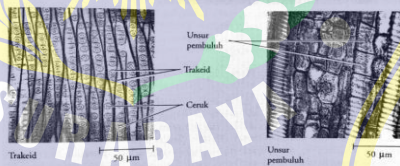
jaringan palisade, sehingga berperan efektif dalam penyimpanan udara air (Fahn, 1995).

c) Jaringan Pembuluh

Jaringan pembuluh pada daun merupakan jaringan yang berperan dalam proses transportasi air, zat hara, serta hasil fotosintesis, yang tersusun atas xilem dan floem

1. Xylem

Xilem merupakan jaringan pengangkut yang tersusun atas berbagai tipe sel. Komponen utama dalam pengangkutan air pada xilem adalah sel memanjang yang terdiri dari dua jenis, yaitu trakeid dan unsur pembuluh (Gambar 2.2). Trakeid merupakan sel panjang dan sempit dengan bagian ujung yang meruncing, dimana perpindahan air terjadi antar melalui moktah tanpa harus menembus dinding sekunder yang tebal. Dinding sekunder trakeid mengalami lignifikasi sehingga selain berperan dalam transportasi air juga berfungsi sebagai penunjang mekanik. Sementara itu, unsur pembuluh tersusun secara berderet membentuk saluran panjang yang disebut pembuluh xilem. Pada bagian ujung sel terdapat perforasi yang memungkinkan air mengalir dengan lebih bebas melalui jaringan xilem (Mitchell, 2003).

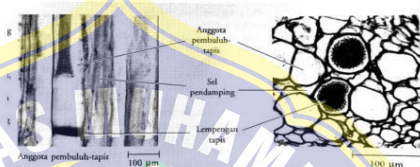


Gambar 2.2. Sel pengangkut air pada xilem (Mitchell, 2003).

2. Floem

Senyawa organik serta beberapa ion mineral pada tumbuhan diangkut melalui jaringan floem, yaitu pembuluh yang tersusun dari deretan sel yang disebut anggota pembuluh tapis (Gambar 2.2). Berbeda dengan sel xilem yang berfungsi mengangkut air, anggota pembuluh tapis tetap hidup saat mencapai kematangan

fungsional, meskipun protoplasma tidak memiliki organel yang lengkap seperti inti sel, ribosom, dan vakuola yang jelas. Disepanjang sisi anggota pembuluh tapis terdapat satu atau lebih sel pendamping yang terhubung melalui plasmodesmata. Pada beberapa tumbuhan sel pendamping berfungsi dalam membantu pemindahan hasil fotosintesis seperti gula yang dihasilkan daun, ke dalam pembuluh tapis, yang selanjutnya akan didistribusikan ke bagian lain tumbuhan melalui jaringan floem (Mitchell, 2003).



Gambar 2.3 Sel pengangkut makanan pada floem (Mitchell, 2003)

4. Trikoma

a. Definisi dan Fungsi Trikoma

Trikoma merupakan modifikasi jaringan epidermis yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti “rambut”. Struktur tersebut merupakan rambut yang berkembang dari sel epidermis dengan bentuk, susunan, dan fungsi yang beragam (Wardhani, 2019). Trikoma (*trichome*) adalah proyeksi seluler yang berkembang dari sel epidermis dan muncul sebagai rambut, sisik, atau struktur kelenjar pada permukaan organ vegetatif maupun generatif tumbuhan (Ainun Mardhiyah, Firda Yanti Ismail, 2023).

Secara morfologis, trikoma diklasifikasikan berdasarkan jumlah sel penyusunnya (*uniseluler/multiseluler*) dan bentuknya (bercabang/tidak bercabang) serta keberadaan kelenjar (*glandular/non-glandular*) yang menentukan ada tidaknya sekresi zat tertentu. (Wardhani, 2019). Dalam literatur taksonomi dan farmakognosi trikoma dikenal sebagai salah satu struktur sekretori yang berperan penting dalam proses produksi metabolit sekunder seperti minyak atsiri, flavonoid, dan terpenoid yang berfungsi sebagai senyawa bioaktif (Hartanto Nugroho, 2020), Kajian trikomata pada

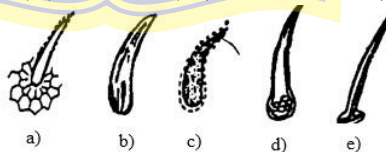
famili tumbuhan di Indonesia menunjukkan bahwa tipe trikoma seringkali menjadi karakter diagnostik yang stabil pada tingkat genus/spesies (Dyah Puspita Sari et al., 2021).

Epidermis adalah lapisan terluar sel yang melapisi organ fotosintetik (daun, batang muda) dan organ reproduktif. Derivat epidermis meliputi kutikula, stomata, kelenjar, dan trikoma (Rizki Nisfi Ramdhini, 2021). Derivat ini muncul dari diferensiasi sel epidermis dan memiliki peran anatomis, fisiologis, dan ekologis misalnya kutikula berfungsi mengurangi laju transpirasi, stomata mengatur pertukaran gas, sedangkan trikoma dapat berperan sebagai pelindung fisik maupun kimiawi terhadap stres lingkungan serta tempat sintesis metabolit sekunder. (Windarsih et al., 2022).

b. Jenis-Jenis Trikoma

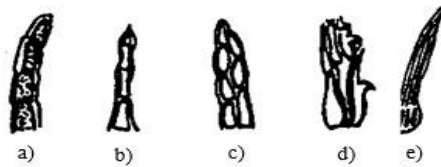
a) Trikoma *non-glandular* (tanpa kelenjar)

Trikoma *non-glandular* memiliki bentuk seperti rambut atau sisik yang umumnya terdiri dari satu atau beberapa sel, dan tidak menghasilkan sekresi (Ainun Mardhiyah, Firda Yanti Ismail, 2023). Penelitian pada studi Asteraceae, Solanaceae, Gulma) menemukan variasi panjang, kepadatan, dan arah tegak/merunduk trikoma *non-glandular* sebagai karakter yang informatif (Dyah Puspita Sari et al., 2021). Bentuk trikoma non glandular dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu rambut tunggal (uniseluler) (Gambar 2.4), rambut multiseluler bercabang (Gambar 2.5), rambut multiseluler bercabang seperti bintang/ dendritik, serta rambut berbentuk sisik (peltate/scale) (Gambar 2.6). (Wardhani, 2019)



Gambar 2.4 Trikoma non-glandular Uniseluler

- a) Rambut sederhana, b) rambut runcing lurus, c) rambut melengkung, d) rambut kait (hooked hair), e) rambut berduri



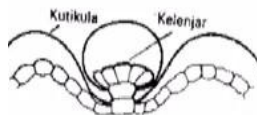
Gambar 2.5 *Trikoma non-glandular Multiselular bercabang* a) Trikoma bercabang tidak teratur, b) Trikoma bercabang dua, c) Trikoma bercabang banyak d) Trikoma bercabang rapat e) Trikoma multiseluler memanjang



Gambar 2.6. Trikoma non-glandular Multiselular. a) Bentuk Tulsi, b) Bentuk Kamala, hamamelis c) Bentuk Cascarilla bark d) Bentuk Male fern leaf Sumber Gambar : (Pharma, 2023)

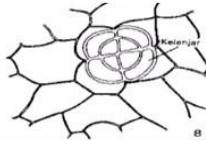
b) Trikoma glandular (berkelenjar)

Trikoma *glandular* memiliki bagian kepala atau sel sekretori yang aktif mensintesis/menyimpan metabolit sekunder (misalnya minyak atsiri, resin, flavonoid). Jenis-jenis trikoma glandular meliputi trikoma hidatoda (Gambar 2.7), kelenjar garam (Gambar 2.8), kelenjar madu (Gambar 2.9) , dan rambut gatal (Gambar 2.10) (Ainun Mardhiyah, Firda Yanti Ismail, 2023). Pada tumbuhan aromatik dan obat (termasuk beberapa famili Zingiberaceae dan Lamiaceae), trikoma *glandular* adalah sumber utama minyak atsiri dan komponen bioaktif lain.



Gambar 2.7 Trikoma hidatoda merupakan struktur yang tersusun atas sel basal, tangkai, dan kepala, serta terdiri dari beberapa sel. Trikoma ini berfungsi mensekresikan larutan yang mengandung asam-asam organik

Gambar 2.7 Trikoma hidatoda (Wibisono Soerodikoesoemo, 1981)



Gambar 2.8 Trikoma kelenjar garam merupakan struktur yang tersusun atas satu sel kelenjar yang berukuran besar yang berada di atas tangkai pendek. Garam disimpan didalam vakuola, ketika vakuola penuh serta organ tempatnya berada (daun) mengalami penuaan, sel akan mati sehingga garam tetap bertahan di dalam vakuola

Gambar 2. 7. Trikoma kelenjar garam (Wibisono Soerodikoesoemo, 1981)



Gambar 2.9 Rambut gatal merupakan jenis trikoma yang tersusun atas satu sel dengan bagian pangkal berbentuk seperti kantung dan ujung meruncing. Bagian pangkal dikelilingi oleh sel epidermis yang menonjol dari permukaan. Dinding pada bagian ujung mengalami penebalan oleh silika atau kalsium sehingga mudah patah saat tersentuh. Ketika ujung tersebut patah, isi sek akan keluar dan menimbulkan sensasi gatal.

Gambar 2.8 Trikoma rambut gatal (Wibisono Soerodikoesoemo, 1981)



Gambar 2.10 Kelenjar madu merupakan jenis trikoma yang dapat tersusun atas satu sel atau beberapa sel, dengan sitoplasma yang kental dan mampu mensekresikan cairan berupa nektar ke permukaan sel

Gambar 2. 9 Trikoma kelenjar madu (Wibisono Soerodikoesoemo, 1981)

- c. Faktor yang mempengaruhi Struktur dan Kerapatan Trikoma
- Struktur dan kerapatan trikoma pada daun merupakan salah satu mekanisme adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari dalam tubuh tanaman dan dipengaruhi oleh genetik. Dalam trikoma, faktor internal yang utama adalah spesies, karena setiap spesies memiliki sifat bawaan yang menentukan bentuk, tipe, dan kerapatan trikoma. Bentuk trikoma merupakan karakter genetik yang bersifat tetap sehingga tidak berubah meskipun kondisi lingkungan berbeda. Faktor eksternal yang memengaruhi pembentukan trikoma adalah

ketersediaan air dalam tanah. Penelitian Ilahi et al., (2018) Pada tanaman *Solanum melongena* L., cekaman kekeringan menyebabkan perubahan karakteristik anatomi daun, termasuk peningkatan jumlah trikoma, yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Dengan demikian, tanaman menyesuaikan morfologi daun agar mampu bertahan dalam kondisi air yang terbatas. Suhu memengaruhi kerapatan trikoma secara spesifik tergantung pada spesies dan kondisi tumbuh tanaman. Pada *Solanum habrochaites*, misalnya, kerapatan trikoma meningkat pada suhu sedang sekitar 20–25°C dan menurun pada suhu rendah, menunjukkan bahwa suhu optimal dapat mendukung pembentukan trikoma yang lebih rapat. Trikoma sendiri berperan sebagai bentuk adaptasi tanaman terhadap stres suhu, baik panas maupun dingin ekstrem (Wang et al., 2021). Cahayamatahari berpengaruh besar terhadap pembentukan dan kerapatan trikoma pada daun. Intensitas cahaya yang tinggi mendorong tanaman menghasilkan trikoma yang lebih banyak, lebih panjang, dan lebih rapat sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan panas dan kering. Kerapatan trikomata umumnya lebih banyak pada permukaanabaksial dibandingkan adaksial karena permukaan bawah lebih terlindung dari cahaya dan lebih mudah mengalami penguapan (Arianti et al., 2024), sehingga trikoma berfungsi menahan kehilangan air dan melindungi daun dari serangga. Sementara itu, permukaan atas harus menerima cahaya matahari untuk fotosintesis, sehingga jika terlalu banyak trikoma di bagian atas, penyerapan cahaya dapat terhambat. Penelitian (Al Toriq & Puspitawati, 2023) mencatat bahwa pada intensitas cahaya sekitar 29.667 lux, tanaman menunjukkan peningkatan jumlah dan ukuran trikoma untuk melindungi daun dari radiasi berlebih, suhu tinggi, dan penguapan cepat. Trikoma yang rapat berperan mengurangi transpirasi serta melindungi permukaan daun. Oleh karena itu, semakin tinggi cahaya yang diterima daun, semakin besar kecenderungan tanaman membentuk trikoma lebih banyak sebagai respon adaptatif.

Selain itu, Kelembapan juga memengaruhi pembentukan dan kerapatan trikoma. Penelitian (Al Toriq & Puspitawati, 2023) dijelaskan bahwa kelembapan yang rendah, bersamaan dengan tingginya intensitas cahaya dan suhu, menciptakan kondisi lingkungan ekstrem yang merangsang peningkatan jumlah serta kerapatan trikoma sebagai bentuk adaptasi tanaman. Pada penelitian tersebut, kelembapan sekitar 49,7% berperan memicu pembentukan trikoma yang lebih banyak untuk menekan penguapan dan melindungi daun dari cekaman kekeringan.

5. Identifikasi Trikoma Berdasarkan Struktur Trikoma

Identifikasi trikoma secara anatomis dapat menggunakan teknik sebagai berikut:

1. Mikroskop cahaya: menilai panjang, bentuk, jumlah sel penyusun, dan hubungan dengan jaringan epidermis. Banyak studi pendidikan/penelitian di Indonesia menggunakan metode ini untuk membandingkan tipe trikoma antarspesies karena alatnya relatif mudah tersedia (Saputri & Putri, 2023).
2. Mikroskop elektron pemindai (SEM): memberikan resolusi permukaan: bentuk kepala trikoma, pori keluaran eksudat, dan distribusi spasial sangat jelas pada SEM tetapi akses SEM terbatas di beberapa institusi. Studi-studi internasional yang menghubungkan parameter peltate/capitate dengan kandungan minyak sering memanfaatkan SEM untuk karakterisasi (Loziene, 2025).
3. Uji histokimia: pewarnaan spesifik dapat mendeteksi senyawa (misalnya uji untuk minyak, lemak, fenolik) pada kepala trikoma sehingga menghubungkan struktur dengan fungsi kimia. Teknik histokimia sederhana sering dipadukan dengan mikroskop cahaya dalam studi lokal (Saputri & Putri, 2023).
4. Kuantisasi kerapatan/indeks kerapatan: perhitungan jumlah trikoma per mm^2 pada permukaan adaksial dan abaksial, perbandingan antarspesies, dan analisis korelasi dengan luas daun dan/atau kadar metabolit sekunder memberikan data statistik yang mendukung interpretasi adaptif atau taksonomis. Metode kuantifikasi ini banyak dipakai pada

studi taksonomi dan kualitas bahan herbal (Windarsih et al., 2022).

6. Khasiat Obat Tanaman Zingiberaceae

Famili Zingiberaceae diketahui mengandung berbagai metabolit sekunder yang berperan penting dalam aktivitas farmakologis dan nilai biologisnya. Senyawa ini juga memiliki fungsi dalam interaksi tanaman dengan lingkungan, mekanisme pertahanan, serta adaptasi terhadap kondisi habitatnya. Beberapa jenis metabolit sekunder yang umum ditemukan pada famili ini antara lain flavonoid, sesquiterpen, diarylheptanoid, senyawa fenolik dan keton (Heikal, 2023). Metabolit sekunder tersebut telah berhasil diisolasi dan diteliti lebih lanjut. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa tersebut memiliki potensi terapeutik yang tinggi, sehingga menunjukkan aktivitas farmakologis pada famili Zingiberaceae. (Nurjannah, L., Azhari, A., 2022).

a. Flavonoid : Flavonoid merupakan salah satu kelompok senyawa fitokimia yang banyak ditemukan pada berbagai jenis tumbuhan, termasuk famili Zingiberaceae. Tumbuhan pada famili ini diketahui memiliki kandungan fitokimia yang beragam, dimana flavonoid menjadi salah satu komponen utama yang terkandung di dalamnya (Ivanovic, M., Makoter, K., & Razborsek, 2021). Kaempferol merupakan salah satu senyawa flavonod yang dikenal luas dan dapat ditemukan pada tanaman famili Zingiberaceae, seperti *Alpinia officinarum* (Wang, 2023). Selain itu, berbagai flavonoid lain seperti kuersetin, rutin, katekin, luteolin, dan mirisetin juga telah teridentifikasi pada *Zingiber zerumbet* (Rahayu, S., Purba, R., & Matondang, 2021). Flavonoid tersebut berperan dalam memberikan aktivitas antioksidan pada tanaman Zingiberaceae. Nilai total kandungan fenolik (*Total Phenolic Content*/TPC) dan total kandungan flavonoid (*Total Flavonoid Content*/TFC) digunakan sebagai indikator utama

untuk menilai aktivitas antioksidan tersebut (Muflihah, 2021).

Keberadaan flavonoid pada tanaman Zingiberaceae berhubungan dengan berbagai aktivitas biologis. Senyawa ini berperan dalam memberikan sifat antioksidan yang mendukung potensi manfaat kesehatan dari tanaman obat tersebut (Parham, 2020).

- b. Diarilheptanoid : Diarilheptanoid merupakan kelompok senyawa alami yang umum ditemukan pada tanaman famili Zingiberaceae, seperti jahe, kunyit, dan lengkuas. Struktur senyawa ini ditandai oleh dua cincin aromatik yang dihubungkan oleh rantai karbon dengan tujuh atom karbon. Senyawa ini diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, diantaranya sebagai antioksidan, antiinflamasi, serta berpotensi sebagai antikanker.
- c. Senyawa fenolik : Senyawa fenolik merupakan kelompok senyawa kimia yang memiliki cincin fenol dan banyak dijumpai pada famili Zingiberaceae, seperti kunyit, jahe, temulawak. Senyawa ini diketahui memiliki beragam aktivitas biologis yang menguntungkan, antara lain seperti antiinflamasi, antioksidan, dan antimikroba. Pada famili Zingiberaceae senyawa fenolik berperan dalam melindungi tanaman dari serangan patogen serta membantu menghadapi tekanan lingkungan. Selain itu, senyawa tersebut juga berkontribusi terhadap karakteristik sensori tanaman, seperti rasa, warna, dan aroma. Kandungan senyawa fenolik pada rimpang Zingiberaceae telah terbukti memiliki aktivitas biologis yang signifikan, khususnya sebagai antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Destryana, 2024). Selain itu, senyawa 6- gingerol yang terdapat pada *Zingiber officinale Roscoe* telah diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi (Atmaja, 2023). Metabolit sekunder tersebut telah

berhasil diisolasi dan diteliti lebih lanjut terkait potensi pemanfaatannya dalam bidang terapi, sehingga menunjukkan bahwa Famili Zingiberaceae memiliki kekayaan aktivitas farmakologis yang signifikan (Nurjannah, 2022).

d. Seskuitерpen : Famili Zingiberaceae diketahui memiliki kandungan berbagai senyawa seskuitерpen yang berperan penting dalam aktivitas farmakologis serta nilai biologisnya. Beberapa Seskuitерpen pada famili zingiberaceae sebagai berikut:

1. Zerumbon merupakan senyawa seskuitерpen monositik yang diisolasi dari rimpang *Zingiber zerumbet* dan dikenal sebagai komponen aktif utama pada tanaman tersebut (Heikal, 2023).
2. Zingiberen merupakan salah satu senyawa seskuitерpen yang terdapat pada tanaman dari famili Zingiberaceae (Rahmi, 2023).
3. Germakron merupakan senyawa seskuitерpen monositik yang ditemukan pada berbagai tanaman dari famili Zingiberaceae (Peng, 2022).
4. α -Humulen merupakan senyawa seskuitерpen monositik yang banyak dijumpai pada tumbuhan dari famili Zingiberaceae (Putra, 2022).
5. β -kariofilen merupakan senyawa seskuitерpen yang banyak ditemukan pada famili Zingiberaceae (Andriana et.al, 2019).
6. Ar-kurkumen merupakan salah satu senyawa seskuitерpen yang dijumpai pada berbagai tanaman famili Zingiberaceae (Sharifi-Rad, 2017).
7. β -turmeron merupakan metabolit golongan seskuitерpen yang telah teridentifikasi pada *Alpinia alismatifolia*, yang merupakan salah satu anggota famili Zingiberaceae (Dong, et.al 2022).
8. Kurzerenon merupakan senyawa seskuitерpen yang teridentifikasi dalam minyak atsiri dari berbagai spesies curcuma (Morais et.al 2021).

9. Xanthorrhizol merupakan metabolit seskuiterpen yang ditemukan dalam minyak atsiri rimpang pada berbagai tanaman dari famili Zingiberaceae (Sharifi-Rad, 2017).

7. Sumber Belajar E-Book

a. Definisi *E-book*

E-book adalah buku dalam format elektronik yang dapat diakses pada perangkat digital (komputer, tablet, *smartphone*). Dalam konteks pembelajaran, *e-book* dapat berupa PDF statis, flipbook interaktif, atau *e-learning module* yang menyertakan multimedia (gambar resolusi tinggi, video, animasi, kuis interaktif) (Dianti & Hakim, 2021). *E-book* sebagai media pendidikan memfasilitasi akses, penyimpanan, dan distribusi konten ilmiah serta memungkinkan integrasi multimedia untuk meningkatkan pemahaman konsep biologis yang rumit (misalnya mikromorfologi trikoma). Studi di jurnal pendidikan Indonesia menunjukkan peningkatan pengembangan dan pemanfaatan *e-book* interaktif untuk berbagai tingkatan pendidikan (Ningsih & Ulya, 2024).

b. Macam-Macam *E-Book*

1. *E-book statis (PDF/EPUB)*: teks dan gambar statis; mudah dibuat dan dibagikan.
 2. *Flipbook / e-magazine* : antarmuka halaman berbalik; estetika lebih menarik untuk pembaca umum.
 3. *E-book interaktif* : menyertakan multimedia (audio, video, animasi), hyperlink, dan kuis yang memberi umpan balik; cocok untuk pembelajaran biologi yang membutuhkan visualisasi mikroskopik.
 4. *Platform berbasis web atau aplikasi*: integrasi tracking pembelajaran, analitik pengguna, dan adaptasi konten. Studi di Indonesia menunjukkan *e-book* interaktif lebih efektif meningkatkan motivasi dan pemahaman siswa dibanding *e-book* statis, khususnya pada materi yang visual-intensif (Saskiawati & Mastoah, 2025).
- ### c. Fungsi dan manfaat *e-book* sebagai sumber belajar
1. **Aksesibilitas**: memudahkan distribusi materi ilmiah ke mahasiswa, guru, dan masyarakat terutama untuk topik

yang jarang dibahas secara luas (misalnya: mikromorfologi trikoma Zingiberaceae).

2. Multimedia learning: kombinasi teks, gambar mikroskopis, dan kuis interaktif mendukung gaya belajar berbeda.
3. Efektivitas pembelajaran: penelitian Indonesia menunjukkan *e-book* interaktif meningkatkan pemahaman konsep, daya ingat, dan kemampuan berpikir kritis bila didesain secara instruksional.
4. Sumber rujukan ilmiah: *e-book* yang menyertakan data riset primer (foto mikroskop, tabel kerapatan trikoma) menjadi sumber belajar sekaligus referensi praktis untuk penelitian lanjutan (Ningsih dan Ulya, 2024).

d. Rancangan Desain *E-Book*

Rancangan desain *e-book* hasil penelitian (Gambar 2.11) yang menampilkan susunan *e-book* secara keseluruhan, meliputi cover, kata pengantar, daftar isi, materi, hasil identifikasi, kesimpulan dan rekomendasi hingga penutup. Desain disusun secara sistematis dengan tampilan yang menarik menggunakan kombinasi warna dan ilustrasi yang mendukung isi materi.



Gambar 2.10 Rancangan Desain *E-Book* Penelitian

B. Kajian Penelitian Terdahulu Yang Relevan

Penelitian mengenai variasi struktur anatomi tumbuhan, khususnya trikoma pada famili Zingiberaceae, telah banyak dilakukan untuk memahami hubungan antara morfologi, fungsi fisiologis, serta potensi farmakologis tanaman herbal. Hasil penelitian-penelitian tersebut menjadi acuan penting bagi penelitian ini yang berfokus pada variasi bentuk trikoma beberapa spesies Zingiberaceae sebagai sumber informasi edukatif dalam bentuk e-book. Penelitian yang dilakukan oleh Windarsih et al., (2022) berjudul “*Stomata and epidermal characteristics of Zingiberaceae in Serang District, Banten, Indonesia*” menunjukkan bahwa setiap spesies Zingiberaceae memiliki perbedaan pada pola epidermis, tipe stomata, dan distribusi stomata. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa karakter mikromorfologi epidermis dan derivatnya dapat digunakan sebagai dasar identifikasi spesies secara anatomi dan mendukung taksonomi keluarga Zingiberaceae di Indonesia.

Penelitian oleh Dyah Puspita Sari et al., (2021) dalam jurnal *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)* yang membahas tentang “*Glandular Trichome in the Asteraceae Family.*” Penelitian tersebut menemukan bahwa Pengamatan trikoma pada 8 spesies Astraceae melalui Mikroskop Elektron Pemindai (SEM) diperoleh bentuk trikoma yang bervariasi, baik bentuk maupun ukurannya, yaitu berupa trikoma glandular multiseluler dengan bentuk yang bervariasi, dengan ukuran berkisar antara 50,6 μm - 831,9 μm . Selanjutnya, penelitian oleh Saputri & Putri, (2023) yang berjudul “*Studi Anatomi Trikoma Daun pada Famili Cucurbitaceae*” menunjukkan bahwa variasi panjang, bentuk, serta kepadatan trikoma berbeda antarspesies dan dapat digunakan sebagai parameter taksonomis. Studi ini memberikan relevansi metodologis bagi penelitian sekarang, terutama dalam teknik pengamatan dan kuantifikasi tipe trikoma pada tumbuhan herbal.

Selain itu, Ainun Mardhiyah, Firda Yanti Ismail, (2023) dalam *Bioteach: Jurnal Pendidikan Biologi* mengatakan bahwa variasi morfologi trikoma pada daun famili Solanaceae memiliki peran penting dalam adaptasi terhadap lingkungan serta aktivitas fisiologis tanaman. Penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa morfologi

trikoma tidak hanya memiliki nilai taksonomis tetapi juga berhubungan dengan respon ekologis tumbuhan terhadap tekanan biotik dan abiotik. Penelitian serupa dilakukan oleh Al Toriq & Puspitawati, (2023) dalam penelitian berjudul “*Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Stomata dan Trikoma pada Daun Tanaman Semangka (Citrullus lanatus)*” menunjukkan bahwa jumlah trikoma pada daun semangka (*Citrullus lanatus*) meningkat hingga dua kali lipat setelah tanaman mengalami stress kekeringan selama 6 hari dibandingkan dengan kondisi kontrol. Peningkatan jumlah trikoma tersebut merupakan bentuk adaptasi fisiologis tanaman terhadap kondisi kekeringan untuk mengurangi laju transpirasi dan mempertahankan keseimbangan air.

Sementara itu, Huchelmann et al., (2017) dalam jurnal *Plant Physiology* menjelaskan bahwa trikoma glandular berfungsi sebagai pabrik alami sel tumbuhan (*natural cell factories*) yang mampu mensintesis, mensekresikan, dan menyimpan berbagai metabolit sekunder seperti terpenoid, fenilpropanoid, dan flavonoid. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa trikoma memiliki potensi bioteknologis yang tinggi dalam produksi senyawa bernilai ekonomi penting, seperti minyak atsiri, resin, dan senyawa farmasi aktif. Penelitian lain yang relevan adalah studi etnobotani oleh Ferry Well, (2021) menunjukkan bahwa famili Zingiberaceae merupakan kelompok tumbuhan obat yang paling banyak dimanfaatkan masyarakat, dengan persentase penggunaan mencapai 11,76 % dari total 51 spesies yang teridentifikasi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa keluarga Zingiberaceae memiliki peranan penting dalam ramuan tradisional masyarakat setempat, serta menunjukkan tingginya ketergantungan masyarakat terhadap tumbuhan herbal sebagai sumber pengobatan tradisional.

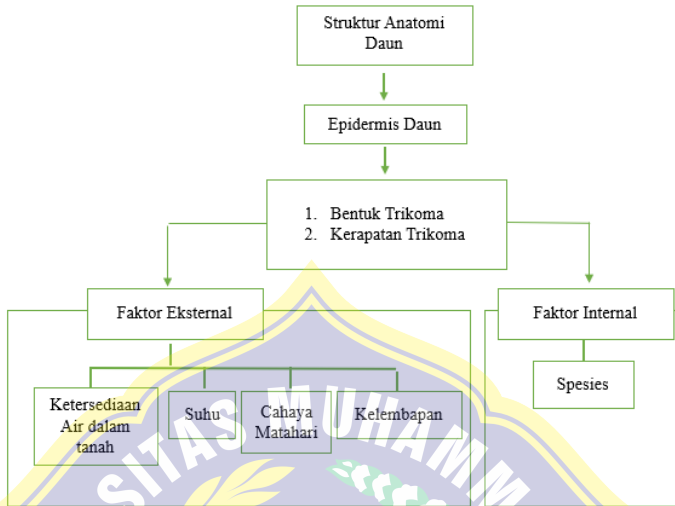
Dalam konteks pendidikan biologi, Ningsih & Ulya, (2024) meneliti efektivitas *e-book* sebagai media pembelajaran sains. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *e-book* interaktif dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa, terutama pada materi yang bersifat visual seperti anatomi tumbuhan. Temuan ini menjadi acuan kuat bahwa hasil penelitian morfologi trikoma pada

Zingiberaceae dapat dikembangkan menjadi sumber belajar digital yang inovatif dan edukatif dalam bentuk *e-book*.

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir ini disusun untuk menjelaskan struktur anatomi daun. Pada bagian epidermis daun terdapat trikoma yang dapat diamati berdasarkan bentuk dan kerapatannya. Pembentukan struktur dan kerapatan trikoma pada daun tanaman dipengaruhi dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal merupakan faktor yang bersifat genetik. Dalam hal ini, spesies menjadi penentu utama karena setiap spesies memiliki sifat bawaan yang mengatur tipe trikomata, bentuk trikomata dan kerapatan trikoma. Karakter bawaan ini bersifat tetap sehingga bentuk dan tipe trikoma umumnya tidak mengalami perubahan meskipun kondisi lingkungan berbeda. Oleh karena itu, spesies menjadi dasar awal dalam membedakan karakteristik trikoma pada setiap tanaman.

Faktor lingkungan yang berperan antara lain ketersediaan air dalam tanah, suhu, intensitas cahaya matahari dan kelembapan. Cekaman kekeringan dapat meningkatkan kerapatan trikoma sebagai bentuk adaptasi tanaman dalam mengurangi kehilangan air. Setiap tanaman memiliki kisaran suhu optimal kerapatan trikoma meningkat pada suhu sedang sekitar 20–25°C yang dapat mendukung pembentukan trikoma. Selain itu, Intensitas cahaya yang tinggi mendorong tanaman menghasilkan trikoma yang lebih banyak, lebih panjang, dan lebih rapat sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan panas dan kering, selain itu, kelembapan yang rendah, menciptakan kondisi lingkungan ekstrem yang merangsang peningkatan jumlah serta kerapatan trikoma sebagai bentuk adaptasi tanaman



Gambar 2. 11. Bagan Kerangka Berfikir

