

**Adaptasi Ekofisiologi dan Mikromorfologi Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dalam Mendukung Resiliensi Tanaman pada Ekosistem Tropis**  
(*Ecophysiological Adaptation and Leaf Micromorphology of Noni (*Morinda citrifolia* L.) in Supporting Plant Resilience within Tropical Ecosystems*)

Adinda Nurfatimah Azzahra<sup>1</sup>, Dewi Sartika Amboupe<sup>2\*</sup>

<sup>1,2\*</sup> Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar, Indonesia

**ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received : September 2, 2025

Revision in revised from : September 10, 2025;

Accepted : September 17, 2025;

Available Online : September 30, 2025.

**KEYWORDS :**

*Anatomical adaptation;*

*Ecophysiology;*

*Morinda citrifolia;*

*Stomatal density;*

*Tropical conservation;*

*Wallacea.*

**ABSTRACT**

Noni (*Morinda citrifolia* L.) is a pioneer species in tropical ecosystem succession, known for its ability to persist under various environmental conditions. This study aims to analyze the internal leaf architecture of Noni to elucidate its ecophysiological adaptation strategies. Leaf samples were collected from multiple individuals and examined using transparent nail polish impression techniques and microscopic observations. The analysis focused on epidermal characteristics, stomatal density, and mesophyll organization. Quantitative results showed that stomata were exclusively distributed on the abaxial surface, confirming a hypostomatic pattern, with a mean stomatal density of  $245 \pm 32$  stomata/mm<sup>2</sup>. The stomata were identified as anomocytic type. Epidermal observations revealed the presence of non-glandular trichomes, suggesting a primarily physical protective function. Anatomically, the mesophyll exhibited a dorsiventral structure, with a two-layered palisade tissue contributing approximately 45.8% of total mesophyll thickness, indicating adaptation to high light intensity. The spongy tissue with large cellular spaces facilitates efficient gas exchange. Overall, these findings indicate that the leaf anatomical traits of *M. citrifolia* reflect potential structural adaptations to environmental conditions such as high irradiance and water limitation. However, further comparative and physiological studies are required to confirm the ecological significance of these traits in enhancing plant resilience across diverse habitats.



Copyright (c) 2025 @author(s).

**1. PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan episentrum keanekaragaman hayati tropis yang

menghadapi tantangan serius akibat perubahan iklim global dan degradasi habitat. Memahami mekanisme resiliensi

tumbuhan lokal dalam menghadapi cekaman lingkungan menjadi prioritas dalam strategi konservasi ekosistem (Sudarmono, 2012; Suparman et al., 2024). Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.), anggota famili Rubiaceae, merupakan spesies pionir yang memiliki kemampuan kolonisasi luar biasa pada berbagai tipe lahan, mulai dari kawasan pesisir yang terpapar salinitas hingga hutan sekunder pedalaman (Handayani, 2015). Kemampuan adaptasi ini sering kali berkorelasi dengan plastisitas fenotipik dan modifikasi struktur anatomi daun yang memungkinkan tanaman bertahan dalam kondisi ketersediaan sumber daya yang terbatas (Firon et al., 2020; Muis et al., 2024).

Sebagai organ fotosintetik utama, daun terus-menerus melakukan negosiasi antara penyerapan CO<sub>2</sub> dan kehilangan uap air. Struktur epidermis, khususnya stomata, bertindak sebagai regulator dinamis dalam pertukaran gas tersebut (Hetherington & Woodward, 2003). Karakteristik stomata, seperti densitas, ukuran, dan distribusinya pada permukaan adaksial maupun abaksial, merupakan indikator sensitif terhadap kondisi lingkungan (Yuan et al., 2020). Tumbuhan di wilayah tropis dengan intensitas cahaya tinggi umumnya mengembangkan pola hipostomatik untuk melindungi stomata dari radiasi langsung, sehingga meminimalkan laju transpirasi tanpa mengganggu asimilasi karbon (Zeiger et al., 2002).

Selain stomata, elemen mikromorfologi lain seperti trikoma memiliki fungsi ekofisiologis yang krusial. Trikoma pada famili Rubiaceae tidak hanya berfungsi sebagai barier fisik terhadap herbivora, tetapi juga berperan dalam refleksi cahaya matahari untuk menurunkan suhu permukaan daun (Werker, 2000). Modifikasi ini penting untuk mencegah fotoinhibisi dan

kerusakan termal pada sel-sel mesofil (Metcalf & Chalk, 2021). Analisis terhadap tipe trikoma, baik glandular maupun non-glandular, memberikan wawasan mengenai mekanisme pertahanan kimiawi dan fisik tanaman terhadap stres biotik dan abiotik (Bhat et al., 2016).

Kapasitas fotosintetik suatu tanaman sangat ditentukan oleh organisasi internal jaringan mesofil. Parenkim palisade yang tersusun rapat berfungsi untuk mengoptimalkan penangkapan foton cahaya, sedangkan parenkim spons yang longgar memfasilitasi difusi gas secara efisien di dalam daun (Raven et al., 2013). Pada tanaman dikotil seperti mengkudu, diferensiasi yang jelas antara kedua jaringan ini mencerminkan strategi efisiensi energi yang matang (Radford et al., 1974). Selain itu, arsitektur vaskular (xilem dan floem) dalam vena daun menjamin distribusi air dan fotosintat yang lancar, yang sangat vital bagi pertumbuhan tanaman di bawah tekanan lingkungan (Sack & Holbrook, 2006).

Meskipun pemanfaatan *M. citrifolia* sebagai tanaman obat telah banyak didokumentasikan, kajian mendalam mengenai kaitan antara struktur mikroskopis daun dengan resiliensi ekosistemnya masih perlu diperluas. Penggunaan metode preparasi yang praktis seperti teknik kuteks transparan memungkinkan peneliti melakukan observasi densitas stomata secara akurat dan efisien (Wu & Zhao, 2017). Studi ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi anatomi daun mengkudu secara integratif guna memahami bagaimana struktur internalnya mendukung keberlangsungan hidup di ekosistem tropis yang dinamis. Informasi taksonomi dan anatomi ini penting untuk melengkapi data koleksi nasional di Herbarium Bogoriense serta menjadi

landasan bagi manajemen sumber daya genetik tanaman obat di Indonesia (Rifai, 2017).

## 2. BAHAN DAN METODE

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kebun Percobaan Biologi dan Laboratorium Mikroskop, Universitas Negeri Makassar (UNM). Pengambilan sampel daun dilakukan pada spesimen *Morinda citrifolia* yang tumbuh di area terbuka dengan paparan sinar matahari penuh guna memastikan tanaman berada dalam kondisi adaptasi lingkungan yang optimal. Seluruh rangkaian koleksi sampel dan analisis laboratorium dilakukan pada bulan April hingga Mei 2025.

### Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah daun segar mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) yang diambil dari bagian tajuk yang sehat. Pemilihan daun difokuskan pada nodus ketiga dan keempat dari pucuk (*mature leaf*) untuk menjamin kematangan jaringan secara fisiologis dan stabilitas karakter anatomi (Raven et al., 2013). Alat-alat yang digunakan meliputi mikroskop binokuler dengan perbesaran hingga 400x, kamera digital mikroskop, kuteks transparan (berbasis *nitrocellulose*), selotip bening (*transparent tape*), kaca objek (*object glass*), kaca penutup (*cover glass*), pinset anatomi, silet tajam untuk sayatan manual, serta akuades.



Gambar 1. Daun segar Mengkudu yang bagian pucuknya diambil sebagai sampel uji

### Persiapan Sampel Daun Mengkudu

Bahan utama yang digunakan adalah daun segar mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) yang diambil secara selektif dari tanaman yang sehat. Sampel daun dipilih pada bagian nodus ketiga atau keempat dari pucuk (*mature leaf*) guna menjamin bahwa jaringan telah mencapai tingkat kematangan fisiologis yang stabil dan karakteristik anatominya telah terbentuk sempurna. Penggunaan daun dewasa sangat krusial dalam studi taksonomi dan ekofisiologi karena struktur sel epidermis dan densitas stomata pada fase ini cenderung konsisten dibandingkan daun muda yang masih mengalami ekspansi sel (Raven et al., 2013).

### Preparasi Epidermis dengan Teknik Kuteks

Analisis mikromorfologi permukaan daun dilakukan dengan menggunakan teknik preparasi kuteks transparan berbasis *nitrocellulose* untuk menghasilkan cetakan epidermis yang

rinci. Prosedur dimulai dengan membersihkan permukaan adaksial dan abaksial daun menggunakan tisu halus, kemudian kuteks dioleskan secara merata pada area seluas  $1 \times 1$  cm. Setelah lapisan mengering (sekitar 5–10 menit), selotip bening ditempelkan di atas film kuteks dan ditarik secara perlahan untuk mengangkat relief permukaan sel epidermis dan stomata. Metode ini terbukti efektif untuk memvisualisasikan detail mikroskopis secara non-destruktif dan memungkinkan pengamatan area yang luas dengan akurasi tinggi (Wu & Zhao, 2017).

### **Pembuatan Penampang Melintang Daun**

Struktur internal mesofil dan sistem vaskular diamati melalui pembuatan penampang melintang menggunakan teknik sayatan manual (*free-hand section*). Helaian daun disayat setipis mungkin secara tegak lurus terhadap ibu tulang daun menggunakan silet tajam untuk mendapatkan lapisan jaringan tunggal yang tembus cahaya. Sayatan yang diperoleh diletakkan di atas kaca objek, diberi medium mounting berupa setetes akuades, dan ditutup dengan kaca penutup (Radford et al., 1974). Teknik ini memungkinkan pengamatan langsung terhadap diferensiasi jaringan palisade dan spons serta organisasi berkas pengangkut tanpa memerlukan proses dehidrasi jaringan yang kompleks.

### **Pengamatan Mikroskopis dan Analisis Data**

Seluruh sediaan preparat diamati menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran hingga 400x untuk mengidentifikasi karakter diagnostik daun. Parameter yang diamati meliputi tipe dan distribusi stomata (hipostomatik

atau amfistomatik), morfologi trikoma, susunan dinding sel epidermis, serta organisasi jaringan mesofil. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif-komparatif dengan mengacu pada literatur standar taksonomi dan fisiologi tumbuhan (Hsuan, 1978; Rifai, 2017). Hasil pengamatan didokumentasikan dalam bentuk citra mikroskopis untuk memperkuat argumen mengenai hubungan antara struktur anatomi dan resiliensi tanaman mengkudu terhadap cekaman lingkungan tropis.

### **Desain Sampling dan Replikasi**

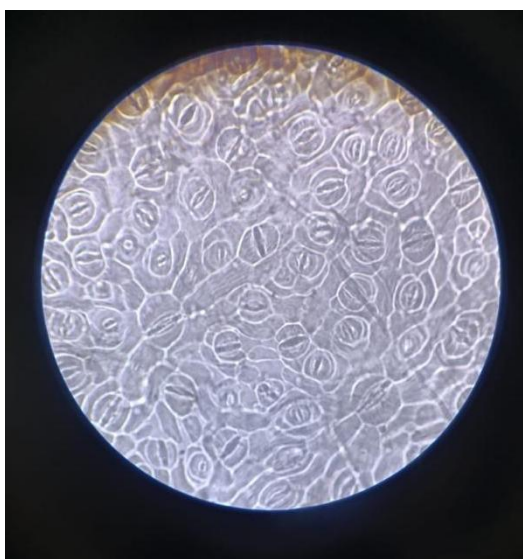
Pengambilan sampel dilakukan secara purposive terhadap 5 individu tanaman *Morinda citrifolia* yang tumbuh pada area terbuka. Dari setiap individu, diambil 3 helai daun dewasa (nodus ke-3 dan ke-4 dari pucuk), sehingga total sampel daun sebanyak 15 daun. Untuk analisis stomata, setiap daun diamati pada 3 bidang pandang berbeda dengan luas masing-masing  $1 \text{ mm}^2$ , sehingga total unit pengamatan sebanyak 45 ulangan ( $n = 45$ ). Pengukuran ketebalan jaringan dilakukan pada 5 irisan melintang per daun, sehingga total pengukuran anatomi sebanyak 75 ulangan. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi (SD).

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Arsitektur Epidermis dan Diferensiasi Permukaan Daun**

Hasil pengamatan mikroskopis pada sediaan paradermal mengungkapkan perbedaan morfologi yang signifikan antara lapisan epidermis adaksial dan abaksial. Sel epidermis pada permukaan adaksial (Gambar 2) memiliki bentuk poligonal yang cenderung isodiametrik

dengan dinding sel antiklinal yang lurus dan tebal. Sebaliknya, sel epidermis pada permukaan abaksial (Gambar 3) menunjukkan kontur yang lebih ireguler dengan dinding sel yang bergelombang (undulate). Kerapatan sel epidermis pada kedua sisi menunjukkan organisasi jaringan yang sangat kompak tanpa ruang antar sel di lapisan luar, yang mempertegas fungsi epidermis sebagai pelindung mekanis utama.

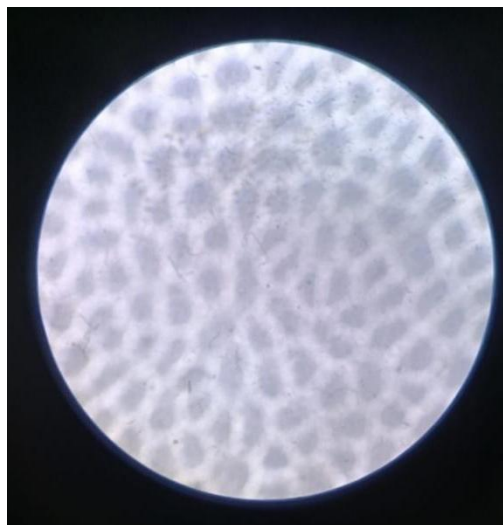


Gambar 1. Sayatan paradermal sisi adaksial

### Karakteristik Mikromorfologi Stomata dan Trikoma

Berdasarkan pengamatan menggunakan teknik cetak kuteks, daun *Morinda citrifolia* secara eksklusif bersifat hipostomatik. Stomata hanya ditemukan pada permukaan abaksial dengan tipe anomositik (Ranunculaceous), di mana sepasang sel penutup dikelilingi oleh 4-5 sel tetangga yang tidak terdiferensiasi secara morfologis dari sel epidermis lainnya. Selain stomata, ditemukan trikoma non-glandular tipe uniseluler yang berbentuk kerucut dengan ujung meruncing. Trikoma ini terdistribusi secara sporadis di helai daun namun memiliki densitas yang lebih tinggi di sepanjang tulang daun utama (midrib)

dan vena lateral. Tidak ditemukan adanya trikoma glandular pada sampel yang diamati, yang mengindikasikan bahwa pertahanan fisik lebih dominan dibandingkan pertahanan sekretori pada permukaan daun mengkudu.



Gambar 3. Sayatan paradermal sisi abaksial

### Organisasi Mesofil dan Struktur Vaskular Internal

Sayatan melintang menunjukkan bahwa daun mengkudu memiliki struktur dorsiventral (bifasial) yang sangat terdiferensiasi. Jaringan palisade terdiri dari dua lapis sel parenkim yang memanjang secara vertikal, memenuhi hampir 40-50% dari total ketebalan mesofil. Sel-sel palisade ini tersusun sangat rapat dan kaya akan kloroplas yang terdistribusi di sepanjang dinding sel (peristropis). Di bawahnya, jaringan spons terdiri dari sel-sel isodiametrik yang membentuk rongga-rongga udara besar (lakuna). Sistem vaskular pada ibu tulang daun menunjukkan berkas pengangkut tipe kolateral tertutup yang diperkuat oleh jaringan sklerenkim dan kolenkim pada sisi adaksial dan abaksial, membentuk struktur penyokong yang kokoh.

## Pembahasan

### Strategi Adaptasi Hipostomatik terhadap Defisit Tekanan Uap

Fenomena hipostomati pada *M. citrifolia* merupakan manifestasi dari strategi efisiensi penggunaan air (Water Use Efficiency/WUE) yang sangat matang. Dalam ekosistem tropis yang memiliki intensitas radiasi matahari tinggi, permukaan adaksial daun sering kali mencapai suhu yang jauh melampaui suhu ambien. Dengan meniadakan stomata pada permukaan atas, mengkudu secara efektif mencegah evaporasi paksa yang dipicu oleh panas langsung (Zeiger et al., 2002). Konsentrasi stomata di permukaan abaksial memungkinkan tanaman untuk tetap melakukan pertukaran gas di bawah perlindungan lapisan batas (boundary layer) yang lebih tenang dan lembap. Menurut Sack & Holbrook (2006), pola ini sangat krusial bagi resiliensi tumbuhan di kawasan Wallacea yang sering mengalami fluktuasi kelembapan ekstrem, karena membantu menjaga potensi air daun tetap berada di atas ambang batas kritis kelayuan.

### Analisis Mekanis Dinding Sel Bergelombang dan Integritas Epidermis

Dinding sel epidermis yang bergelombang (undulate) pada sisi abaksial bukan sekadar variasi bentuk, melainkan adaptasi biomekanik. Bentuk ini berfungsi layaknya "puzzle" yang meningkatkan luas permukaan kontak antar sel, sehingga memperkuat ikatan antar sel epidermis terhadap tekanan turgor yang tinggi dan tarikan fisik akibat angin (Metcalf & Chalk, 2021). Secara ekofisiologis, lekukan dinding sel ini juga berfungsi membiaskan cahaya yang masuk ke dalam jaringan mesofil, sebuah fenomena yang dikenal sebagai

pelenaan mikro yang membantu pendistribusian cahaya lebih merata ke sel-sel palisade (Raven et al., 2013). Hal ini memperkuat posisi mengkudu sebagai spesies yang mampu mengoptimalkan energi cahaya pada berbagai sudut datang sinar matahari.

### Efisiensi Karboksilasi dan Organisasi Mesofil Dorsiventral

Struktur palisade dua lapis yang ditemukan menunjukkan bahwa mengkudu memiliki kapasitas fotosintetik yang tinggi (heliofit). Sel palisade yang memanjang secara vertikal berfungsi sebagai "saluran cahaya" (light guides), memungkinkan foton menembus lebih dalam ke lapisan mesofil tanpa mengalami hambatan hamburan yang berarti (Taiz & Zeiger, 2018). Sementara itu, jaringan spons yang sangat longgar (poros) memberikan jalur resistensi rendah bagi difusi lateral  $CO_2$ . Meskipun stomata hanya berada di bagian bawah, keberadaan rongga udara yang terkoneksi secara kontinu memastikan bahwa  $CO_2$  dapat menjangkau seluruh pusat karboksilasi di lapisan palisade dengan cepat. Mekanisme ini sangat penting untuk mendukung pertumbuhan cepat mengkudu sebagai spesies pionir dalam suksesi hutan sekunder (Sudarmono, 2012).

### Peran Trikoma uniseluler sebagai Modifikator Lapisan Batas

Keberadaan trikoma non-glandular di sepanjang vena daun memberikan fungsi perlindungan ganda. Secara mekanis, trikoma ini menghambat pergerakan serangga herbivora kecil dan melindungi jaringan vaskular yang vital (Werker, 2000). Secara termal, trikoma meningkatkan ketebalan lapisan batas udara di permukaan daun, yang berperan dalam memantulkan sebagian

radiasi UV dan menurunkan suhu transpirasi (Bhat et al., 2016). Pada ekosistem tropis yang dinamis, keberadaan trikoma merupakan investasi energi yang efisien untuk mengurangi beban panas tanpa mengorbankan laju asimilasi karbon (Yuan et al., 2020).

### **Resiliensi Ekosistem dan Plastisitas Anatomi**

Secara integratif, karakteristik anatomi daun mengkudu menunjukkan adanya potensi adaptasi struktural terhadap kondisi cekaman abiotik, seperti intensitas cahaya tinggi dan keterbatasan air. Namun demikian, karena penelitian ini dilakukan pada satu kondisi lingkungan tanpa perbandingan langsung dengan habitat ekstrem seperti wilayah pesisir, maka interpretasi terkait toleransi terhadap salinitas dan kekeringan perlu dipahami sebagai indikasi awal, bukan sebagai bukti eksperimental yang konklusif. Studi lanjutan dengan pendekatan komparatif dan uji fisiologis diperlukan untuk mengonfirmasi peran anatomi ini dalam meningkatkan resiliensi ekologis *Morinda citrifolia*. (Rifai, 2017).

### **4. KESIMPULAN**

Studi ini menegaskan bahwa pendekatan integratif antara analisis mikromorfologi epidermis dan kuantifikasi anatomi mesofil memberikan perspektif baru dalam memahami strategi adaptasi struktural pada *Morinda citrifolia*. Novelty utama penelitian ini terletak pada kombinasi data kuantitatif (densitas stomata dan proporsi jaringan mesofil) dengan interpretasi fungsional ekofisiologis, yang masih jarang dilaporkan pada spesies ini dalam konteks ekosistem tropis Indonesia. Temuan ini menunjukkan bahwa arsitektur daun tidak hanya berperan

sebagai karakter deskriptif taksonomi, tetapi juga sebagai indikator awal (*proxy*) untuk menilai potensi respons tanaman terhadap tekanan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini membuka peluang pengembangan pendekatan anatomi sebagai dasar inferensi ekologi pada spesies pionir, sekaligus menjadi pijakan untuk studi lanjutan berbasis uji fisiologis dan komparatif lintas habitat.

### **5. UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Biologi dan Laboratorium Mikroskop Universitas Negeri Makassar atas fasilitas dan dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengambilan sampel, preparasi, serta analisis data. Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga manapun.

### **6. DAFTAR PUSTAKA**

- Bhat, R. R., Krishnan, S., & Kumar, P. (2016). Taxonomic significance of trichome morphology in vascular plants. *Systematic Botany*, 41(2).
- Firon, N., Nepi, M., & Pacini, E. (2020). Morphological and physiological traits of plants under environmental stress. *Journal of Plant Research*, 133(1), 13-28.
- Gitz, D. C., & Baker, J. T. (2009). Methods for creating leaf epidermal impressions. *BioTechniques*, 46(4), 285-287.
- Handayani, T. (2015). Keanekaragaman famili Rubiaceae berpotensi obat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(5), 123-130.
- Hetherington, A. M., & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental

- change. *Nature*, 424(6951), 901-908.
- Hsuan, K. (1978). Rubiaceae. In C. G. G. J. van Steenis (Ed.), *Flora Malesiana Series I: Spermatophyta* (Vol. 8, pp. xxx-xxx). Noordhoff International Publishing.
- Matthaeus, H., Müller, C., & Schubert, A. (2020). Leaf anatomical traits and ecological adaptation: A comparative analysis. *Plant Biology*, 22(4), 567-576.
- McNeill, J., Barrie, F. R., Buck, W. R., Demoulin, V., Greuter, W., Hawksworth, D. L., Herendeen, P. S., Knapp, S., Marhold, K., Prado, J., Prud'homme van Reine, W. F., Smith, G. F., Wiersema, J. H., & Turland, N. J. (2012). *International code of nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)*. Koeltz Scientific Books.
- Metcalf, C. R., & Chalk, L. (2021). *Anatomy of the dicotyledons: Leaves, stem, and wood* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Muis, N., Setyawati, T., Tjitrosoedirjo, S., & Ratnadewi, Y. M. D. (2024). Effects of Herbicide Application on the Soil Seed Bank in the Bekol Savanna of Baluran National Park. *Indonesian Journal of Ecology and Conservation*, 1(1), 9-15. <https://doi.org/10.31605/ijec.v1i1.3712>
- Moon, H. K., Hong, S. P., & Smets, E. (2009). Phylogeny of tribe Mentheae based on morphological and molecular data. *Systematic Botany*, 34(1), 123-135.
- Radford, A. E., Dickison, W. C., Massey, J. R., & Bell, C. R. (1974). *Vascular plant systematics*. Harper & Row.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Biology of plants* (8th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Rifai, M. A. (2017). *Glosarium biologi*. Pusat Bahasa.
- Sack, L., & Holbrook, N. M. (2006). Leaf hydraulics. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 361-381.
- Sudarmono. (2012). Diversitas dan konservasi tumbuhan di Pulau Sulawesi. *Warta Kebun Raya*, 11(1), 45-52.
- Suparman, S., Putra Nurdin, M. R. T. J., & Fausan, M. M. (2024). Diversitas dan distribusi spasial kumbang tinja (Coleoptera: Scarabaeidae) pada dua tipe habitat di Sulawesi Barat. *Indonesian Journal of Ecology and Conservation*, 1(2). <https://doi.org/10.31605/ijec.v1i2.6319>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Werker, E. (2000). Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*, 31, 1-35.
- Wu, Y., & Zhao, L. (2017). A simple technique for analyzing stomatal density and distribution using nail polish. *Plant Methods*, 13, 1-8.