

Asesmen Morfo-Fisiologi *Nepenthes adrianii* Liar dan Budidaya

Morpho-Physiological Assessment of Wild and Cultivated Nepenthes adrianii

Didi Ramadani¹, Juwarno¹, Alice Yuniaty^{1*}, Esa Kurniawan²

¹Program Studi Biologi Program Magister, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia

²Balai Kebun Raya Baturraden, Banyumas Indonesia

*corresponding author, Email: alice.yuniaty@unsoed.ac.id

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 30/04/2025

Disetujui : 14/06/2025

Abstract

Nepenthes adrianii, one of the *Nepenthes* species native to Java Island, is facing conservation challenges due to susceptibility to environmental stresses, as well as difficulties in propagation and cultivation. This study compares the morphological and physiological characteristics of *N. adrianii* cultivated and conserved at the Baturraden Botanical Garden – consisting of parent and F1 generations – with individuals that grow wild in their natural habitat, to understand how the cultivation environment influences phenotypic expression and adaptation. Parametric analysis was applied to normally distributed data, while nonparametric analysis was used for nonnormally distributed data. The results show a significant reduction in all pitcher and tendril sizes, along with increased levels of chlorophyll b, specific leaf area (SLA), and leaf water content in F1 generation of cultivated *N. adrianii* compared to wild *N. adrianii*. These morphological and physiological differences can be attributed to the lower light intensity in the cultivation environment, relative to the natural habitat of the wild *N. adrianii*.

Key Words: *ex situ*, *in situ*, morphology, *Nepenthes adrianii*, physiology

Abstrak

N. adrianii, salah satu spesies *Nepenthes* asli Pulau Jawa, menghadapi tantangan konservasi karena kerentanan terhadap stress lingkungan serta kesulitan dalam perbanyakan dan budidayanya. Studi ini membandingkan karakteristik morfologi dan fisiologi *N. adrianii* yang telah dibudidaya dan dikonservasi di Kebun Raya Baturraden – terdiri dari generasi tetua (*parental*) dan F1 – dengan individu yang tumbuh liar di alam, untuk memahami bagaimana lingkungan budidaya mempengaruhi ekspresi fenotipik dan adaptasi. Analisis parametrik dilakukan terhadap data yang terdistribusi normal, sementara analisis nonparametrik diterapkan pada data yang tidak terdistribusi normal. Hasil studi menunjukkan penurunan signifikan pada semua ukuran kantung dan tendril, disertai peningkatan klorofil b, *specific leaf area* (SLA), dan kadar air daun pada generasi F1 *N. adrianii* yang dibudidayakan dibandingkan dengan *N. adrianii* yang tumbuh liar. Perbedaan ini terindikasi disebabkan oleh intensitas cahaya yang lebih rendah di lingkungan budidaya *N. adrianii* dibandingkan di lingkungan habitat alami *N. adrianii* liar.

Kata kunci: *ex situ*, fisiologi, *in situ*, morfologi, *Nepenthes adrianii*

PENDAHULUAN

Nepenthes adrianii merupakan spesies epifit yang hanya ditemukan di Pulau Jawa pada ketinggian 950-2000 mdpl (Batoro & Wartono, 2017). Spesies ini terancam keberadaannya di habitat alami karena eksploitasi berlebihan oleh masyarakat sebagai komoditas tanaman hias. Upaya konservasi secara *ex situ* telah dilakukan, tetapi menemui berbagai kendala, di antaranya adalah pertumbuhan yang kurang baik dan kelangsungan hidup yang rendah pada individu hasil perbanyakan generatif. Konservasi *Nepenthes* di Kebun Raya merupakan bagian penting dalam konservasi *ex situ*. Akan tetapi, belum banyak studi yang melaporkan perubahan sifat-sifat *N. adrianii* pasca konservasi tersebut. Hal ini menunjukkan pentingnya studi karakter biologis terhadap spesies ini untuk mendukung keberlanjutan spesies ini, baik di alam liar maupun di lingkungan *ex situ* dalam upaya konservasi.

Karakter morfologi dan fisiologi merupakan karakter biologis yang sangat dipengaruhi oleh

kondisi lingkungan tumbuh. Oleh karena itu, karakter ini dapat dijadikan parameter evaluasi kesesuaian lingkungan budidaya untuk perkembangan *N. adrianii* yang optimal. Data morfologi penting untuk memahami struktur dan fungsi tumbuhan (Handayani & Hadiah, 2019), serta untuk mengevaluasi pertumbuhan dan kesehatan tumbuhan. Studi pada *Nothofagus cunninghamii* menunjukkan bahwa karakter daun seperti luas daun, massa kering daun, dan *Specific Leaf Area* (SLA) memberikan respon yang nyata terhadap paparan cahaya matahari pada ketinggian tempat yang berbeda (Hovenden & Schoor, 2006). SLA – luas daun persatuan massa kering – memiliki plastisitas fenotipik yang sangat bervariasi sebagai bentuk adaptasi terhadap perubahan lingkungan (Anderson *et al.*, 2020).

Karakteristik fisiologi seperti kadar klorofil dan kandungan air dalam daun dapat memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi metabolisme dan strategi adaptasi fisiologis yang digunakan

karena perbedaan lingkungan tumbuh. Kadar klorofil sebagai salah satu parameter fisiologis berhubungan langsung dengan kapasitas fotosintesis dan sintesis karbohidrat yang berperan penting dalam kondisi fisiologis dasar serta mendukung pertumbuhan yang optimal (Wang *et al.*, 2018). Studi perbandingan kadar klorofil pada *Corylus colurna* dan *Taxus baccata* yang tumbuh secara *in situ* di habitat aslinya dan *ex situ* di Yerevan dan Vanadzor Botanical Gardens menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Kadar total klorofil tertinggi ditemukan pada sampel *in situ* di kedua spesies (Hovakimyan *et al.*, 2024). Studi pada *Camellia sinensis* menunjukkan, bahwa terdapat kenaikan yang signifikan terhadap kadar klorofil daun segar akibat naungan, dan hal ini tidak terkait dengan umur daun, musim, dan jumlah perlakuan naungan, akan tetapi terkait dengan durasi dan tingkat naungan (Sano *et al.*, 2018; Yamashita *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2021). Beberapa studi tersebut menunjukkan bahwa faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap produksi klorofil tumbuhan. Oleh karena itu, pemantauan kandungan klorofil pada *N. adrianii* penting untuk mengevaluasi kesesuaian lingkungan, dan strategi budidaya yang tepat (Wang *et al.*, 2018).

Studi ini bertujuan untuk mengomparasikan karakter morfologi dan fisiologi *N. adrianii* antara individu tipe liar dan hasil budidaya Kebun Raya Baturraden yang terdiri dari generasi parental (F0) dan F1, serta memahami kondisi dan dampak lingkungan budidaya terhadap ekspresi fenotipik dan adaptasi *N. adrianii*.

MATERI DAN METODE

Sampel Parental (F0) dan sampel generasi pertama (F1) berasal dari koleksi yang terdapat di Rumah Nepenthes, Kebun Raya Baturraden yang telah dibudidayakan. Individu F0 dalam penelitian ini awalnya merupakan individu liar yang dieksplorasi dari area Gunung Slamet, kemudian dikoleksi dan dipelihara di Rumah Nepenthes Kebun Raya Baturraden. Individu F0 ini digunakan berdasarkan dugaan kuat sebagai induk jantan dan betina dari individu-individu generasi F1, meskipun hubungan parental langsung antara F0 dan F1 tidak dapat dipastikan karena keterbatasan dokumentasi dari pembiakan sebelumnya dan adanya individu F0 yang telah mati sebelum studi ini dilakukan. Sementara itu, sampel tipe liar diperoleh melalui eksplorasi langsung di habitat alami *Nepenthes* di Lereng

Selatan Gunung Slamet. Sampel liar ditemukan epifit pada pohon Pasang (*Lithocarpus* sp.) dan pohon Pari-Parian (*Weinmannia* sp.). Tumbuhan diambil secara utuh beserta media tumbuhnya menggunakan kantong plastik dan dibawa ke Rumah Nepenthes Kebun Raya Baturraden untuk keperluan penelitian lebih lanjut. Ketiga tipe sampel tersebut (liar, parental/F0 dan generasi F1) diamati morfologinya dan diambil masing-masing sebanyak 2 helai daun untuk analisis kadar klorofil, kadar air daun, dan *specific leaf area* (SLA). Penelitian dilakukan selama bulan Desember 2024 hingga Januari 2025.

Pengukuran parameter morfologi menggunakan penggaris 30 cm dan jangka sorong. Ekstraksi klorofil menggunakan pelarut aseton 80% (Sumanta *et al.*, 2014). Sebanyak 0,1 g sampel daun ditambahkan aseton 80% sebanyak 2 mL, selanjutnya dihaluskan dan disentrifugasi (Eppendorf centrifuge 5415 R) 10.000 rpm pada suhu 4°C selama 15 menit. Sebanyak 0,5 mL supernatan diambil dan ditambahkan aseton 80% sebanyak 4,5 mL. Ekstrak kemudian diukur absorbansinya pada spektrofotometer UV-vis (Hitachi U-2900) dengan panjang gelombang 646,8 nm, dan 663,3 nm. Kuantitas klorofil dihitung dengan persamaan berikut (Lichtenthaler & Wellburn, 1983):

$$\begin{aligned}\text{Klorofil a } (\mu\text{g.mL}^{-1}) &= 12,25 (A_{663,2}) - 2,79 (A_{646,8}) \\ \text{Klorofil b } (\mu\text{g.mL}^{-1}) &= 21,50 (A_{646,8}) - 5,10 (A_{663,2}) \\ \text{Total Klorofil } (\mu\text{g.mL}^{-1}) &= 7,15 (A_{663,2}) + 18,71 (A_{646,8})\end{aligned}$$

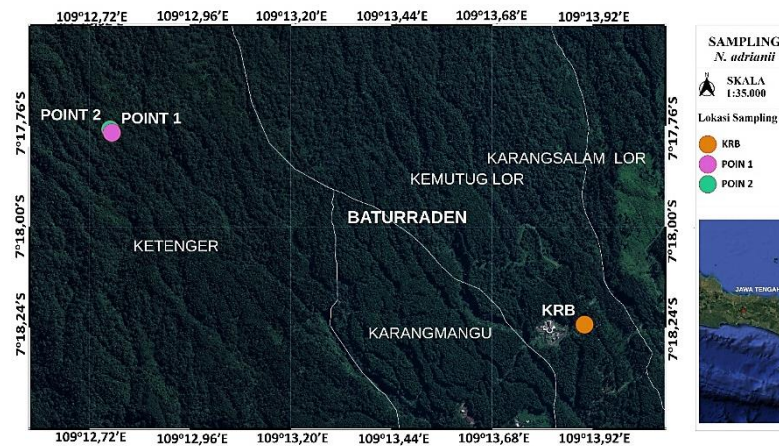
Pengukuran kadar air daun dan *Specific Leaf Area* (SLA) dilakukan dengan terlebih dahulu mengukur luas daun menggunakan perangkat lunak ImageJ dan ditimbang massa segarnya. Daun kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 60°C selama 5 hari atau hingga mencapai massa konstan. Kadar air daun dan SLA dihitung dengan persamaan berikut (Zhou *et al.*, 2020):

$$\begin{aligned}\text{Kadar air daun } (\%) &= \frac{\text{massa segar} - \text{massa kering}}{\text{massa segar}} \times 100\% \\ \text{SLA } (\text{mm}^2.\text{mg}^{-1}) &= \frac{\text{Luas daun}}{\text{Massa kering daun}}\end{aligned}$$

Studi ini menggunakan rancangan acak lengkap. Analisis variasi (ANOVA) dan uji lanjut Tukey dilakukan pada data normal dan analisis Kruskal-Wallis dan uji lanjut Dunn untuk data yang tidak normal. Semua analisis statistik dan visualisasi nya dilakukan menggunakan perangkat lunak R versi 4.4.2.

Tabel 1. Detail Titik Sampling *N. adrianii*

No	Lokasi	Koordinat	
		S	E
1.	Kebun Raya Baturraden	07° 18' 14"	109° 13' 54"
2.	Titik Sampling 1, Lereng Selatan Gunung Slamet	07° 17' 46"	109° 12' 46"
3.	Titik Sampling 2, Lereng Selatan Gunung Slamet	07° 17' 47"	109° 12' 46"



Gambar 1. Titik sampling *N. adrianii* liar dan budidaya di Lereng Selatan Gunung Slamet, Jawa Tengah, Indonesia. Oranye: Rumah Nepenthes, Kebun Raya Baturraden; Ungu: Titik sampling 1; Hijau: Titik sampling 2. Detail titik sampling dapat dilihat pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

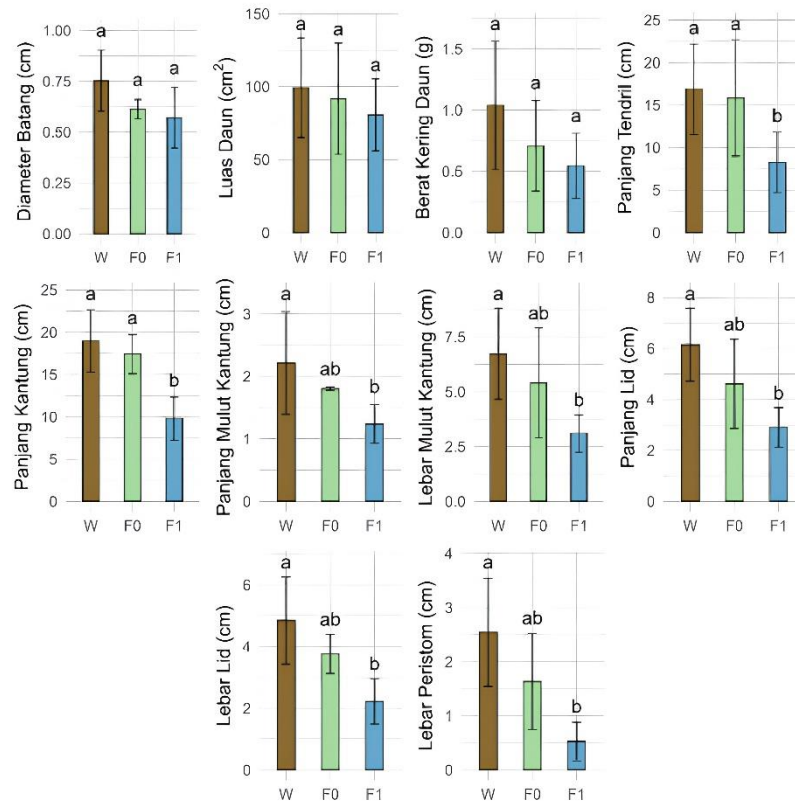
Karakteristik Morfologi

Batang dan daun merupakan struktur utama yang tidak menunjukkan adanya perbedaan pada ketiga tipe (liar, parental/F0 dan generasi F1). Stabilitas pada kedua parameter tersebut menunjukkan bahwa keduanya merupakan struktur prioritas dalam alokasi sumberdaya selama proses perkembangan. Sebaliknya, terjadi penurunan yang signifikan pada parameter tendril dan kantung pada generasi F1 dibandingkan tipe liar (Gambar 2). Adapun tipe parental menunjukkan adanya transisi dari tipe liar ke generasi F1, kecuali pada parameter panjang tendril dan panjang kantung yang berbeda signifikan dengan generasi F1 (Gambar 2). Perubahan tersebut mengindikasikan adanya pengaruh proses adaptasi pada lingkungan budidaya terhadap ekspresi fenotipik yang berkaitan dengan pembentukan kantung.

Perubahan ukuran kantung yang mengecil pada tanaman karnivora seperti *Nepenthes* dan *Heliophora* dapat terjadi karena adaptasi terhadap relung ekologis (*ecological niche*) baru (Donoghue *et al.*, 2022), habitat suboptimal, seperti substrat yang tidak subur, substrat yang dangkal, tingkat naungan yang tinggi, dan kekeringan berkala, atau juga stress panas (Givnish *et al.*, 2018; Liu dan Smith, 2023). Studi pada *Nepenthes x ventrata* menunjukkan bahwa *Nepenthes* dengan perlakuan pemberian nutrisi anorganik pada akar akan mengutamakan alokasi biomasnya ke organ daun dibandingkan perlakuan pemberian insektisida pada kantung yang akan mengalokasikan biomasnya ke organ kantung (Capo-Bauca *et al.*, 2020). Hingga studi ini dilakukan, spesimen *Nepenthes* di Kebun Raya Baturraden diketahui tidak pernah diberikan pupuk atau nutrisi tambahan baik pada media tanam maupun pada kantungnya sehingga faktor nutrisi ini dapat dieliminasi dari faktor penyebab perbedaan ukuran kantung.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi ukuran kantung adalah cahaya. Terdapat bukti bahwa cahaya, selain berpengaruh terhadap warna juga berpengaruh terhadap panjang kantung *N. ampullaria* (Harapan *et al.*, 2022). Studi terhadap *Nepenthes* asal Pulau Bangka juga menunjukkan bahwa *Nepenthes* yang tumbuh pada habitat terbuka dengan intensitas cahaya penuh memiliki ukuran kantung lebih besar dibandingkan dengan yang tumbuh pada habitat ternaung (Rizqiani *et al.*, 2018). Pola yang sama ditunjukkan pada *Sarracenia alata* yang membentuk kantung dengan diameter yang lebih kecil saat ketersediaan cahaya berkurang (Segala dan Horner, 2023). Ukuran kantung yang besar membutuhkan energi besar yang mana energi tersebut didapatkan melalui proses fotosintesis dan penangkapan mangsa. Warna hijau pada kantung mengindikasikan bahwa organ tersebut memiliki fungsi fotosintesis, adapun warna kantung yang cerah menunjukkan fungsi kantung sebagai penangkap mangsa (Handayani dan Hadih, 2019).

N. adrianii tipe liar memiliki warna badan kantung dan peristome yang relatif sama, yaitu merah cerah hingga ungu gelap. Tipe parental memiliki warna badan kantung yang didominasi warna hijau dengan bercak merah dan peristome merah cerah dan terdapat satu individu yang memiliki kantung aerial dengan warna badan kantung dan peristome hijau. Adapun pada tipe generasi F1 sebagian besar berwarna hijau dengan sedikit bercak merah pudar dan peristome merah, badan kantung merah-oranye dan peristome hijau muda, hingga hijau dengan sedikit bercak merah kecokelatan. Terlihat terdapat pergeseran warna kantung dari tipe liar, parental dan generasi F1 yang semakin menuju warna hijau. Pergeseran tersebut mengindikasikan adanya reduksi sifat karnivora dan peralihan menjadi organ fotosintesis pada *N. adrianii* yang telah dibudidaya.



Gambar 2. Histogram Karakter Morfologi *N. adrianii*. W: Tipe Liar; F0: Parental; F1: Generasi F1.

Karakteristik Fisiologi

Intensitas cahaya rendah diketahui dapat menginduksi pengembangan plastida yang mengarah pada peningkatan jumlah kloroplas dan kekompakan tilakoid (Liu *et al.*, 2020). Tanaman karnivora *Darlingtonia californica* yang berada pada kondisi ternaung memiliki “fishtail appendage” dengan kandungan klorofil yang tinggi dibandingkan pada kondisi cahaya penuh. Akan tetapi, hal ini tidak mengurangi biomassa dan komposisi mangsanya (Armitage, 2016). Studi ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada kadar klorofil a dan total klorofil antara tipe liar dan parental, sedangkan generasi F1 tidak berbeda nyata dengan keduanya (Gambar 3). Hal Ini dapat dipahami sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan tumbuh yang berbeda. Oleh karena tipe parental dan generasi F1 berada pada tempat yang sama maka keduanya tidak menunjukkan adanya perbedaan pada semua parameter klorofil. Generasi F1 yang tidak berbeda nyata dengan tipe liar diduga karena memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap lingkungan budidaya dibandingkan tipe parental. Parental dan generasi F1 meresponden dengan cara yang sama, yaitu dengan meningkatkan kadar klorofilnya.

Kadar klorofil b pada semua tipe relatif lebih tinggi dibandingkan klorofil a (Gambar 3) yang menunjukkan bahwa semua tipe berada pada lingkungan dengan intensitas cahaya yang relatif rendah. Peningkatan kadar klorofil b berbanding terbalik dengan intensitas cahaya yang diterima

tumbuhan (Muhidin *et al.*, 2018). Lebih lanjut, tipe parental dan generasi F1 memiliki klorofil b yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan tipe liar yang menguatkan dugaan bahwa lingkungan budidaya memiliki intensitas cahaya yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan di habitat alamnya. Kadar klorofil ini akan sangat berpengaruh terhadap efisiensi fotosintesis tumbuhan untuk mendapatkan energi yang digunakan untuk peningkatan biomassa tumbuhan.

Specific Leaf Area (SLA) – luas per satuan massa kering daun - merupakan indikator penting yang digunakan untuk memahami baik strategi fisiologis maupun ekologis tumbuhan dalam mengelola sumberdaya. SLA menunjukkan perbedaan keadaan struktur daun yang berhubungan dengan kemampuan fotosintesis dan penangkapan cahaya (Reich *et al.*, 1998; Gao *et al.*, 2022) serta penyerapan karbon oleh ekosistem (Thornton dan Zimmermann, 2007). Semakin besar nilai SLA maka semakin kecil komponen struktural yang ditunjukkan oleh kecilnya massa kering daun.

Daun yang tebal dengan konsentrasi N yang tinggi akan lebih efektif dalam menangkap cahaya pada habitat dengan intensitas cahaya yang tinggi. Tumbuhan yang ternaung cenderung memiliki daun yang lebih tipis dengan konsentrasi N yang rendah. Daun yang ternaung juga menunjukkan massa per satuan luas daun (*mass per unit area*, LMA) yang lebih rendah. Habitat dengan ketersediaan nutrisi tinggi membuat tumbuhan beradaptasi dengan

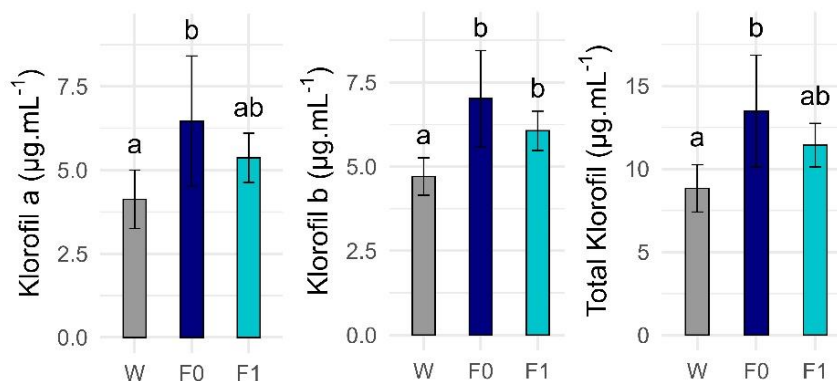
membentuk daun dengan umur pendek, LMA rendah, dan konsentrasi N yang tinggi. Strategi tersebut akan lebih efektif dalam menunjang pertumbuhan yang cepat pada lingkungan yang kompetitif. Sebaliknya, pada kondisi nutrisi rendah, tumbuhan mengembangkan daun berumur panjang, LMA tinggi, dan N rendah, sebagai bentuk strategi konservatif dalam penggunaan nutrisi. Daun berumur pendek memiliki kecenderungan untuk mengorbankan LMA tetapi berinvestasi besar terhadap aktivitas fotosintesis dan akuisisi nutrisi, kontras dengan daun yang memiliki umur panjang. Mekanisme ini diduga dilakukan karena investasi energi dan manfaat dari peningkatan LMA hanya dapat dikembalikan dalam jangka waktu yang lebih lama daripada yang dimungkinkan oleh daun berumur pendek (Gilbert *et al.*, 2025).

Generasi F1 memiliki nilai SLA dan kandungan air yang lebih tinggi dibanding tipe liar. Tren peningkatan SLA dari ketiga tipe (Gambar 4) menunjukkan adanya strategi adaptif yang nyata akibat proses budidaya. Nilai SLA yang tinggi menggambarkan luas daun yang relatif besar dibanding massa keringnya, juga menunjukkan bahwa daun tersebut memiliki komponen struktural yang rendah. Rendahnya komponen struktural ini dikonfirmasi oleh kadar air daun yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan tipe liar

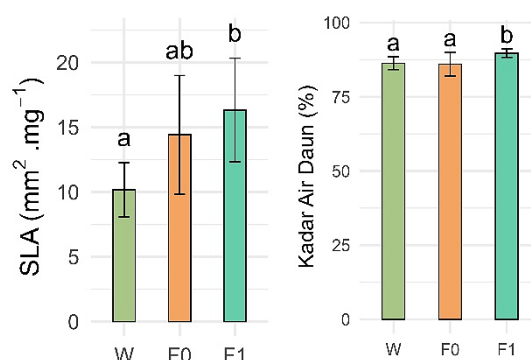
(Gambar 4). Kemampuan retensi air yang tinggi pada F1 berimplikasi terhadap fitur fisiologis seperti peningkatan kemampuan mempertahankan turgor sel dan toleransi terhadap stress lingkungan terutama pada lingkungan dengan kondisi yang fluktuatif. Hal ini mungkin dilakukan sebagai bentuk adaptasi untuk menjaga kondisi daun dengan meningkatkan turgor sel sebagai akibat dari kurangnya komposisi struktural yang berfungsi sebagai penyangga struktur.

Kondisi Lingkungan Budidaya

Intensitas cahaya rendah memicu peningkatan SLA melalui peningkatan luas daun (Francis & Gilman, 2019) sebagai respon kompensasi agar tumbuhan tetap dapat menjaga laju fotosintesis bersih (*net photosynthetic rates*) pada lingkungan dengan intensitas cahaya rendah. Respon ini dilakukan sebagai bentuk adaptasi dengan tujuan untuk memastikan proses metabolisme tetap berlangsung optimal. Tren SLA yang tinggi pada *N. adrianae* yang telah dibudidaya (Gambar 4) menjadi indikasi bahwa tumbuhan ini berusaha mengoptimalkan fungsi daun sebagai organ fotosintesis, terutama dalam fungsi penangkap cahaya dengan umur yang pendek dibandingkan daun yang lebih kuat secara struktur dan memiliki umur yang lebih panjang.



Gambar 3. Histogram Kadar Klorofil *N. adrianae*. W: Tipe Liar; F0: Parental; F1: Generasi F1



Gambar 4. Histogram *Specific Leaf Area* (SLA) dan kadar air daun. W: Tipe Liar; F0: Parental; F1: Generasi F1.

Tumbuhan yang hidup pada intensitas cahaya rendah tetap kurang mampu menjaga biomasnya walaupun telah melakukan respon kompensasi (Liu *et al.*, 2016). Hal ini dibuktikan dengan adanya tren peningkatan pada parameter SLA daun (Gambar 4) dan penurunan semua parameter kantung (Gambar 2). Respon kompensasi yang dilakukan hanya mampu memenuhi kebutuhan energi bagi perkembangan organ vegetatif utama, yaitu batang dan daun - yang secara statistik tidak menunjukkan perbedaan - namun tidak mampu menghasilkan energi lebih untuk kebutuhan pembentukan kantung yang optimal seperti pada tipe liar. Hal ini diperkuat dengan adanya pergeseran warna kantung dan temuan bahwa 25% sampel F1 tidak membentuk kantung sama sekali.

Kuat dugaan bahwa tren SLA yang tinggi disebabkan oleh kurangnya cahaya di lingkungan budidaya dan hal ini diperkuat kembali oleh hasil analisis klorofil (Gambar 3). Kadar klorofil b yang relatif lebih tinggi dibandingkan klorofil a merupakan ciri khas tumbuhan yang hidup pada tempat dengan intensitas cahaya dibawah level optimum (Wan *et al.*, 2020). Peningkatan klorofil b dilakukan dengan tujuan meningkatkan kemampuan absorpsi cahaya biru (Pareek *et al.*, 2017). Tumbuhan utamanya menggunakan cahaya biru dengan panjang gelombang antara 400-500 nm dan cahaya merah dengan panjang gelombang antara 600-700 nm untuk proses fotosintesis (Fiorucci dan Fankhauser, 2017; Grondelle dan Boeker, 2017). Pola serupa juga terjadi pada individu tipe liar. Hal ini dapat dipahami mengingat pengambilan sampel dilakukan pada saat musim hujan sehingga kondisi cahaya lebih terbatas. Namun demikian, fakta bahwa kadar klorofil individu budidaya tetap lebih tinggi secara signifikan dibandingkan tipe liar, menjadi indikasi bahwa intensitas cahaya di lingkungan budidaya lebih rendah dibandingkan habitat alami *N. adrianii*.

SIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa ekspresi fenotipik *N. adrianii* menunjukkan perbedaan yang signifikan terutama pada generasi F1 dibandingkan tipe liar. Meskipun karakter morfologi batang dan daun relatif stabil pada ketiga tipe, terjadi penurunan signifikan pada semua parameter kantung dan tendril yang disertai dengan perubahan warna. Tipe budidaya, khususnya generasi F1 menunjukkan peningkatan nilai SLA, kadar air daun, dan dominansi klorofil b. Pergeseran pada karakter morfologi dan fisiologi ini menjadi indikasi respon terhadap intensitas cahaya rendah. Strategi fisiologis ini memungkinkan efisiensi penangkapan cahaya tetapi tidak cukup untuk menopang perkembangan organ karnivora secara optimal. Dengan demikian, perbandingan antara tipe liar dan budidaya mengungkap bahwa lingkungan budidaya mendorong perubahan strategi pertumbuhan dan adaptasi morfo-fisiologis yang berdampak terhadap penurunan fungsi dan ukuran kantung sebagai organ karnivora *N. adrianii*.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kebun Raya Baturraden atas izin dan akses yang diberikan teradap koleksi *N. adrianii*. Kami juga berterimakasih kepada Narso atas bantuan dan dukungannya selama proses pengambilan sampel tipe liar.

DAFTAR REFERENSI

- Anderson, C. G., Bond-Lamberty, B. & Stegen, J. C., 2020. Active Layer Depth and Soil Properties Impact Specific Leaf Area Variation and Ecosystem Productivity in a Boreal Forest. *PLoS ONE*, 15(12), pp. 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232506>
- Armitage, D. W., 2016. The Cobra's Tongue: Rethinking The Function of The "Fishtail Appendage" on The Pitcher Plant *Darlingtonia californica*. *American Journal of Botany*, Volume 103, pp. 780-785. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500524>
- Batoro, J. & Wartono, A., 2017. Review Status The *Nepenthes* (Nepenthaceae) From Java Indonesia. *Indian Journal of Plants Science*, 6(1), pp. 12-16. <http://www.cibtech.org/jps.htm>
- Capo-Bauca, S., Font-Carrascosa, M., Ribas-Carbo, M., Pavlovic, A., & Galmes, J., 2020. Biochemical and Mesophyll Diffusional Limits to Photosynthesis are Determined by Prey and Root Nutrient Uptake in The Carnivorous Plant *Nepenthes x ventrata*. *Annals of Botany*, 126(1), pp. 25-37. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa041>
- Chen, J., Wu, S., Dong, F., Li, J., Zeng, L., Tang, J., & Gu, D., 2021. Mechanism Underlying The Shading-Induced Chlorophyll Accumulation in Tea Leaves. *Frontiers in Plant Science*, Volume 12, pp. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.779819>
- Donoghue, M. J., Eaton, D. A. R., Maya-Lastra, C. A., Landis, M. J., Sweeney, P. W., Olson, M. E., Cacho, N. I., Moeglein, M. K., Gardner, J. R., Heaphy, N. M., Castorena, M., Rivas, A. S., Clement, W. L., & Edwards, E. J., 2022. Replication Radiation of a Plant Clade Along a Cloud Forest Archipelago. *Nature Ecology & Evolution*, Volume 6, pp. 1318-1329. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01823-x>
- Fiorucci, A. S. & Fankhauser, C., 2017. Plant Strategies for Enhancing Access to Sunlight. *Current Biology*, Volume 27, pp. R931-R940. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.085>

- Francis, B. & Gilman, R. T., 2019. Light Intensity Affects Leaf Morphology in A Wild Population of *Adenostyles alliariae* (Asteraceae). *Italian Botanist*, 8(45), pp. 35-45. <https://doi.org/10.3897/italianbotanist.8.39393>
- Gao, J., Wang, K. & Zhang, X., 2022. Patterns and Drivers of Community Specific Leaf Area in China. *Global Ecology and Conservation*, Volume 33, p. e01971. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01971>
- Gilbert, K. J., Armitage, D., Bauer, U., Fukushima, K., Gaume, L., Love, R., Lin, Q., Liu, S., Martin-Eberhardt, S., Millett, J., Renner, T., Scharmann, M., & Thorogood, Cl., 2025. Construction cost and Tradeoffs in Carnivorous Pitcher Plant Leaves: Towards a Pitcher Leaf Economic Spectrum. *Annals of Botany*, p. mcaf024. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaf024>
- Givnish, T. J., Sparks, W., Hunter, S. J. & Pavlovic, A., 2018. Why are Plants Carnivorous? Cost/benefit Analysis, Whole Plant Growth, and The Context-specific Advantages of Botanical Carnivory. In: A. Ellison & L. Adamec, eds. *Carnivorous Plants: Physiology, Ecology and Evolution*. s.l.:Oxford University Press, pp. 232-255. <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780198779841.003.0018>
- Grondelle, R. & Boeker, E., 2017. Limits on Natural Photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry*, Volume 121, pp. 7229-7234. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b03024>
- Handayani, T. & Hadiah, J. T., 2019. Pitcher Morphology and Pitcher Coloring of *Nepenthes mirabilis* Druce. from East Kalimantan, Indonesia. *BIODIVERSITAS*, 20(10), pp. 2824-2832. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201007>
- Harapan, T. S., Ikhwan, A., Amolia, R. R., Zulaspita, W., Febriamansyah, T. A., Bibas, E., Sakdiah, H. T., Diniyati, F., Mutashim, M., Chairul, C., Taufiq, A., & Nurainas, N., 2022. *Size doesn't Matter Shape does: A Morphological Study of Pitcher Plant in Distinct Forest Canopy Structures*. s.l., IOP Publishing, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/976/1/012065>
- Hovakimyan, Z. H., Papikyan, A. S., Hayrapetyan, N. A., Hakobyan, E. A., Fayvush, G. M., & Gabrielyan, I. G., 2024. Eco-Physiological Characteristics of *Corylus colurna* and *Taxus baccata* in Armenia under In Situ and Ex Situ Conditions. *Regulation Mechanisms in Biosystems*, 15(3), pp. 543-547. <https://doi.org/10.15421/022475>
- Hovenden, M. J. & Schoor, J. K. V., 2006. The Response of Leaf Morphology to Irradiance depends on Altitude of Origin in *Nothofagus cunninghamii*. *New Phytologist*, 169(2), pp. 291-297. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01585.x>
- Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R., 1983. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, Volume 11, pp. 591-592. <http://dx.doi.org/10.1042/bst0110591>
- Liu, L., Lin, N., Liu, X., Yang, S., Wang, W., & Wan, X., 2020. From Chloroplast Biogenesis to Chlorophyll Accumulation: The Interplay of Light and Hormone on Gene Expression in *Camellia sinensis* cv. Shuchazao Leaves. *Frontiers in Plant Science*, Volume 11, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00256>
- Liu, S. & Smith, S. D., 2023. Replicated Radiations in The South American Marsh Pitcher Plants (*Heliamphora*) Lead to Convergent Carnivorous Trap Morphologies. *American Journal of Botany*, 110(10), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16230>
- Liu, Y., Dwson, W., Prati, D., Haeuser, E., Feng, Y., Kleunen, & Mark, V., 2016. Does Greater Specific Leaf Area Plasticity Help Plants to Maintain A High Performance When Shaded?. *Annals of Botany*, Volume 118, pp. 1329-1336. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw180>
- Muhidin, S. E., Kaimuddin, Musa, Y., Sadimantara, G. R., Usman, Leomo, S., & Rakian, T. C., 2018. *The Effect of Shade on Chlorophyll and Anthocyanin Content of Upland Red Rice*. s.l., IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012030>
- Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., Kumar, V., Agarwal, T., Gondzalez-Aguilar, G., & Yahia, E. M., 2017. Chlorophylls: Chemistry and Biological Function. In: E. M. Yahia, ed. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*. 2nd ed. s.l.:John Wiley & Sons Ltd., pp. 269-284. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch14>
- Reich, P. B., Ellsworth, D. S. & Walters, M. B., 1998. Leaf Structure (Specific Leaf Area) Modulates

- Photosynthesis-nitrogen Regulations: Evidence from Within and Across Species and Functional Group. *Functional Ecology*, Volume 12, pp. 948-958. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00274.x>
- Rizqiani, S., Ariyanti, N. S. & Sulistijorini, 2018. *Diversity of Lowland Nepenthes (Pitcher Plants) in Bangka Belitung Island*. s.l., IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/197/1/012021>
- Sano, T., Horie, H., Matsunaga, A. & Hirono, Y., 2018. Effect of Shading Intensity on Morphological and Color Traits and on Chemical Components of New Tea (*Camellia sinensis* L.) Shoot under Direct Covering Cultivation. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 98(15), pp. 5666-5676. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9112>
- Segala, M. C. & Horner, J. D., 2023. The Effects of Light Availability, Prey Capture, and Their Interaction on Pitcher Plant Morphology. *Plant Ecology*, Volume 224, pp. 539-548. <https://doi.org/10.1007/s11258-023-01320-6>
- Sumanta, N., Haque, C. I., Nishika, J. & Suprakash, R., 2014. Spectrophotometric Analysis of Chlorophyll and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Science*, 4(9), pp. 63-69. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1340072>
- Thornton, P. E. & Zimmermann, N. E., 2007. An Improved Canopy Integration Scheme for a Land Surface Model with Prognostic Canopy Structure. *Journal of Climate*, Volume 20, pp. 3902-3923. <https://doi.org/10.1175/JCLI4222.1>
- Wang, K., Li, W., Deng, L., Lyu, Q., Zheng, Y., Yi, S., Xie, R., Ma, Y., & He, S., 2018. Rapid Detection of Chlorophyll Content and Distribution in Citrus Orchards Based on Low-altitude Remote Sensing and Biosensors. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), pp. 164-169.
- Wan, Y., Zhang, Y., Zhang, M., Hong, A., Yang, H. Y., & Liu, Y., 2020. Shade Effect on Growth, Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Parameters of Three Paeonia species. *PeerJ*, Volume 8, pp. 1-19. <https://doi.org/10.7717/peerj.9316>
- Yamashita, H., Tanka, Y., Umetsu, K., Morita, S., Ono, Y., Suzuki, T., Takemoto, T., Morita, A., & Ikka, T., 2020. Phenotypic Markers Reflecting The Status of Overstressed Tea Plants Subjected to Repeated Shade Cultivation. *Frontiers in Plant Science*, Volume 11, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.556476>
- Zhou, H., Zhou, G., He, Q., Zhou, L., Ji, Y. & Zhou, M., 2020. Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 171, p.103932. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103932>