

Pola dan Intensitas Pigmentasi Serta Fotosintesis pada Tanaman Hias Daun Caladium pada Tingkat Naungan Berbeda

Pigmentation Pattern and Intensity and Photosynthesis of Ornamental Caladium at Different Shading Levels

AI IKA AYU YANUAR¹, HAMIM HAMIM¹, LAELASARI², DIAH RATNADEWI^{1*}

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²Pusat Riset Rekayasa Genetika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong, Bogor 16915, Indonesia

Diterima 18 Maret 2025/Diterima dalam Bentuk Revisi 4 Juni 2025/Disetujui 16 Juni 2025

Caladium, a member of the Araceae family, is known for its diverse leaf colors and patterns, referred to as variegation. This study aimed to examine the relationship between pigmentation patterns, variegated areas, and leaf anatomy, chlorophyll content, and photosynthetic rate under different light conditions. Two light treatments were applied, full sun (0% shade, 37,500 lux) and 70% shade (12,000 lux), using direct morning sunlight. Seven distinct types of Caladium were used in the experiment. Photosynthetic rate was measured using a LI-6400 portable photosynthesis system at Photosynthetic Photon Flux Densities (PPFD) of 100, 400, and 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pigment analysis included quantification of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanins, while morphological assessments focused on leaf size, variegated area, and leaf thickness. Plants exposed to higher light intensity developed smaller, thicker leaves with mostly larger proportion of variegated area. Chlorophyll, carotenoid, and anthocyanin contents varied depending on plant type and light treatment. The net photosynthetic rate (P_n) increased with higher PPFD and was greater in unshaded conditions. Among the plant types, V3 and V4 exhibited characteristics typical of shade-adapted species, while V6 showed traits of sun-loving plants. Overall, the study demonstrated that variegated Caladium plants maintain comparable net photosynthetic rates despite differences in pigmentation patterns and variegation intensity.

Key words: Anthocyanin, carotenoids, chlorophyll, light intensity, shading

PENDAHULUAN

Tanaman hias merupakan tanaman yang memiliki keindahan dan keunikan dari segi bentuk dan warna sebagai ciri khasnya. Namun terdapat beberapa tanaman hias yang memiliki letak nilai keindahan bukan pada bunga melainkan pada daun, sehingga sering disebut tanaman hias daun. Salah satunya yang populer di kalangan masyarakat berasal dari genus *Caladium* atau keladi, yang termasuk ke dalam famili Araceae atau talas-talasan. Tanaman keladi hias memiliki corak warna dan bentuk daun yang menarik. Bercak warna berbeda yang tampak pada permukaan daun disebabkan oleh variegasi, karena pola pigmentasi yang beragam, sehingga warna daun yang umumnya hijau menjadi bercorak lain, seperti bercak warna gradasi putih, kuning, merah muda, atau merah tua. Zhang *et al.* (2020) menyatakan bahwa variegata pada tumbuhan diklasifikasikan

berdasarkan jenis pigmen, tipe epidermis, tipe ruang udara, dan tipe jaringan pelengkap. Menurut Deng *et al.* (2022), beberapa kultivar keladi hias yang populer dan banyak dibudidayakan di antaranya ‘Red hot’, ‘Passionista’, ‘Gingerland’, dan ‘Candidum’.

Tanaman keladi memiliki ragam bentuk daun, yaitu hati, tombak, atau bentuk panah. Daun ditopang oleh tangkai daun yang kecil dan lunak. Tanaman keladi tidak memiliki batang sehingga tangkai daun langsung terhubung dengan umbi (Gamon dan Surfus 1999). Berdasarkan jenis pigmen utama yang umum terdapat pada tumbuhan, tanaman keladi dikelompokkan ke dalam tiga warna pokok, yaitu hijau, merah, dan putih. Pigmen warna hijau dihasilkan oleh klorofil, warna merah oleh kandungan flavonoid dalam bentuk antosianin, dan warna kuning disebabkan oleh karoten (Anania *et al.* 2017). Karotenoid merupakan pigmen aksesoris dalam kloroplas, sedangkan antosianin adalah pigmen sitoplasma (Buschman *et al.* 2016). Pada beberapa tumbuhan, bagian daun berwarna hijau tersusun dari dua lapis jaringan palisade yang berisi

*Penulis Korespondensi:

E-mail: dratnadewi@apps.ipb.ac.id

klorofil, sedangkan variasi warna berupa bercak putih pada permukaan daun disebabkan oleh melonggarnya jaringan palisade dan defisiensi klorofil, bahkan dapat disebabkan oleh sel mesofil yang tidak berdiferensiasi menjadi jaringan palisade dan spons (Rocca *et al.* 2011). Menurut Supratman dan Purwantoro (2021), mayoritas tanaman keladi tumbuh di tempat yang lembap, subur, dan teduh, namun ada beberapa jenis keladi hias justru menyukai tempat dengan penyinaran matahari penuh. Cahaya matahari menjadi salah satu faktor penting dalam fotosintesis. Intensitas cahaya, lama penyinaran, dan kelembapan atmosfer akan mempengaruhi laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktansi stomata, dan penyerapan CO₂.

Proses fotosintesis melibatkan pigmen hijau atau yang dikenal sebagai klorofil. Beberapa jenis tanaman keladi hias mengalami variegasi atau memiliki bercak warna lain, sehingga komposisi kandungan pigmennya berbeda. Pigmen klorofil dan karotenoid terdapat pada kloroplas, sedangkan pigmen antosianin terdapat dalam vakuola, yang bersama dengan karotenoid berperan dalam melindungi perangkat fotosintesis terhadap intensitas cahaya yang berlebih (Pebrianti *et al.* 2015). Intensitas dan kualitas cahaya berpengaruh terhadap intensitas warna pigmen-pigmen tersebut (Yang *et al.* 2022; Huo *et al.* 2024), sehingga sangat penting bagi keindahan tanaman hias termasuk keladi. Namun kebutuhan akan pencahayaan pada tanaman hias daun variegata umumnya masih perlu diinvestigasi. Pertanyaan yang timbul, apakah semua jenis keladi membutuhkan kondisi pencahayaan yang sama, dan apakah daun variegata yang dominan tidak berwarna hijau memiliki laju fotosintesis yang sama dengan yang dominan berwarna hijau. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan pola pigmentasi dan luas bercak variegata dengan anatomi, kandungan pigmen daun, dan laju fotosintesis pada tujuh tipe tanaman hias daun variegata *Caladium* dalam dua kondisi naungan yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Bahan Tanaman. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2023 sampai dengan Februari 2024 di teras Timur gedung, yang mendapatkan sinar matahari langsung di pagi hari.

Bahan tanaman yang digunakan adalah tujuh tipe tanaman *Caladium* spp. dengan bentuk, ukuran daun dan bercak variegata yang berbeda (V0, V1, V2, V3, V4, V5, dan V6).

Persiapan dan Aklimatisasi Tanaman. Tujuh tipe keladi, masing-masing sebanyak enam pot, diadaptasikan dalam polibag berukuran 20 × 30 cm. Komposisi media tanam terdiri dari tanah, kompos,

dan arang sekam (2:1:1 v/v). Tanaman dirawat dalam kondisi sehat pada masa adaptasi selama 20 hari sebelum penelitian. Perlakuan terdiri dari dua jenis kondisi naungan, yaitu tanpa tutupan paronet (0%) dan dengan tutupan paronet 70%. Masing-masing perlakuan terdiri dari tiga pot untuk masing-masing tipe tanaman setelah masa adaptasi. Total tanaman yang diuji sebanyak 42 tanaman (7 tipe keladi × 2 perlakuan × 3 ulangan). Tanaman dipelihara selama 50 hari selama perlakuan. Suhu dan kelembapan nisbi (RH) diukur dengan 4 in 1 *environmental tester*, serta intensitas cahaya dengan *lux meter*. Pengukuran dilakukan pada pagi hari dalam rentang waktu pukul 09.00-09.30, siang hari pada pukul 13.30-14.00, dan sore hari pada pukul 16.00-16.30, selama tiga hari seminggu selama dua minggu pertama setelah perlakuan diberikan. Data pengukuran mandiri disajikan sebagai Hasil Pengamatan. Informasi tambahan mengenai data cuaca setempat diperoleh dari laman BMKG Stasiun Klimatologi Jawa Barat yang berlokasi di Situgede, Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor, yang berjarak 4,5 km dari lokasi penelitian.

Pengukuran Luas Daun dan Proporsi Bercak Variegata.

Pengukuran luas daun dan bercak variegata dilakukan pada hari ke-45 setelah perlakuan, dengan mengambil gambar bagian adaksial daun pada jarak ±30 cm. Untuk daun yang berukuran kecil, rasio gambar diperbesar 3×. Daun yang digunakan adalah daun ke-2 termuda. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan program *ImageJ* yang dapat menggambarkan luas dan proporsi variasi bercak warna yang berbeda.

Analisis Fotosintesis. Pengukuran laju fotosintesis neto (Pn) menggunakan LI-COR Li-6400 *photosynthetic analyser* dengan tiga variasi PPFD (*Photosynthetic Photon Flux Density*) yaitu 100, 400, dan 800 μmol m⁻² s⁻¹, pada pukul 09.00-11.00 WIB.

Kadar Klorofil dan Karotenoid. Kadar klorofil dan karotenoid pada daun dianalisis pada hari ke-48 setelah perlakuan dengan cara mengekstrasi daun termuda ke-2 atau ke-3. Daun segar 0,1 g dihaluskan dengan mortar, dan dilarutkan dalam 1 mL aseton p.a 80% dingin, kemudian dimasukkan ke dalam tabung centrifuge 15 mL dan diinkubasi selama 30 menit pada kondisi tidak terpapar cahaya langsung. Setelah masa inkubasi, larutan kemudian disentrifugasi pada 3.000 rpm selama 10 menit pada suhu 4°C. Supernatant dari larutan sampel diambil untuk diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada λ 663,2; 646,8; dan 470 nm (Lichtenthaler 1987). Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali dari daun yang berbeda. Kadar klorofil total dan β-karoten dihitung dengan rumus:

$$\text{Klorofil total (mg/g)} = 7,15(\text{A}663,2) - 18,71(\text{A}646,8)$$

$$\text{Karotenoid (mg/g)} = \frac{1.000}{(A470)} \cdot \frac{1,82}{198} \cdot \frac{18,71}{(\text{klorofil a})} \cdot (\text{klorofil b})$$

Uji Kadar Antosianin. Kadar antosianin dianalisis menggunakan metode pH diferensial (Suzery *et al.* 2010) dengan modifikasi. Daun termuda ke-2 atau ke-3 dari setiap tipe tanaman diambil pada hari ke-49. Sebanyak 0,1 g daun diambil tiga kali ulangan dari daun yang berbeda, kemudian sampel daun dihaluskan dalam mortar. Sampel yang telah halus dilarutkan dengan 300 μL etanol 96% dan diinkubasi selama 1 jam. Larutan sampel kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 8.000 rpm selama 5 menit. Bagian supernatan diambil dua kali 50 μL , yang masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Ke dalam tabung reaksi pertama ditambahkan 4,95 mL larutan buffer KCl (0,025 M) pH 1,0 dan tabung reaksi kedua ditambahkan 4,95 mL larutan buffer $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ (0,4 M) pH 4,5. Kemudian, larutan supernatan yang telah ditambahkan buffer pH diinkubasi selama 15 menit, setelah itu ke dua larutan tersebut diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer pada λ 510 dan 700 nm. Total antosianin dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Total antosianin (mg/L)} = \frac{A \times BM \times FP \times 1.000}{\epsilon \times 1}$$

Keterangan:

- A : (A510-A700) pH1.0 – (A510-A700) pH4,5
- BM : bobot molekul (449,2 g/mol)
- FP : faktor pengenceran (5 mL/0,05 mL) = 100x
- ϵ : koefisien ekstingsi molar
(26.900 L/mol.cm)
- 1 : lebar kuvet (1 cm)

Pengamatan Anatomi Daun. Daun yang digunakan untuk membuat sayatan melintang adalah daun ke-2 atau ke-3, yang diambil pada hari ke-48 setelah perlakuan. Sayatan transversal dibuat dengan cara mengiris daun segar menggunakan silet cukur. Hasil sayatan diletakkan pada kaca preparat yang telah ditetesi akuades dan ditutup dengan gelas penutup; setelah itu diamati pada mikroskop cahaya binokuler (Olympus CX33RTFS2) dengan perbesaran 100x. Pengamatan dilakukan terhadap jaringan penyusun serta tebal daun.

Analisis Data. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Analisis data dilakukan dengan ANOVA dengan satu faktor yaitu tingkat naungan, menggunakan bantuan *software* SPSS versi 20 dengan uji statistik non parametrik, yaitu uji Mann-Whitney U pada α 5% terhadap parameter luas daun, persentase bercak variegata, dan ketebalan daun setiap tipe tanaman.

Data pengaruh faktor naungan dan tipe keladi terhadap kadar pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin, serta Pn pada PPFD 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dianalisis dengan menggunakan ANOVA dua faktor, dilanjutkan dengan DMRT pada α 5%.

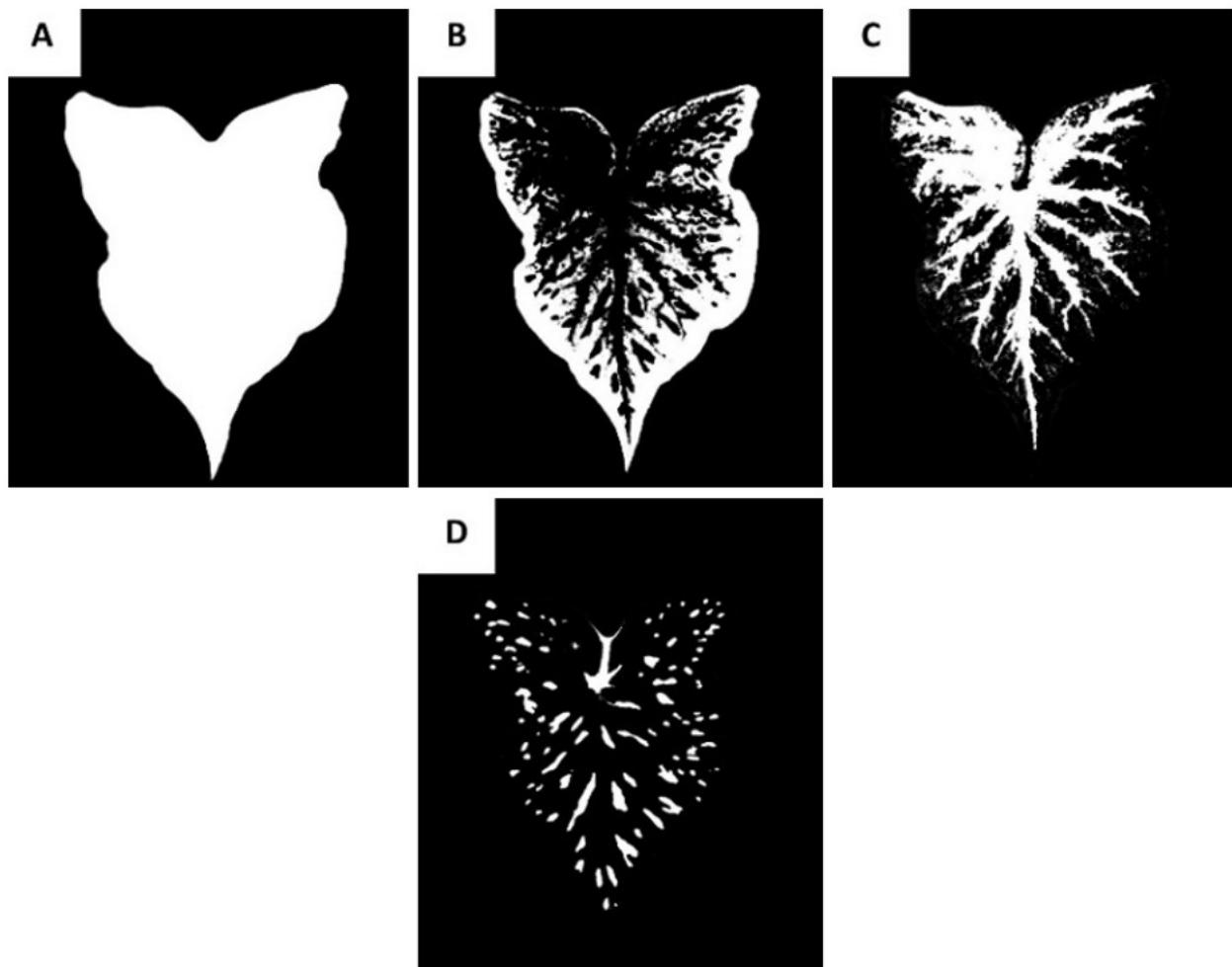
HASIL

Data Lingkungan. Hasil pengukuran terhadap kondisi lingkungan tempat perlakuan menunjukkan bahwa kelembapan nisbi udara rata-rata (RH) 82,76%, dengan temperatur maksimum 32,39°C dan minimum 22,97°C. Lama penyinaran matahari rata-rata 5 jam/hari. Data primer yang diperoleh dari pengukuran mandiri di lokasi penelitian adalah intensitas cahaya matahari langsung tertinggi diterima pada pagi hari sebesar 37 534 lux pada naungan 0%, dan 12 019 lux pada naungan 70%. Pada siang hari tanaman tidak menerima cahaya matahari secara langsung, karena diletakkan pada bagian Timur bangunan yang beratap. Intensitas cahaya tertinggi pada siang dan sore (dari cahaya matahari tidak langsung) pada naungan 0% sebesar 4 730 dan 1 495 lux, sedangkan pada naungan 70% sebesar 855,3 dan 324 lux. RH pada naungan 0% adalah 51% dan pada naungan 70% sebesar 74%.

Luas Daun dan Proporsi Bercak Variegata. Dari data pengukuran dengan bantuan program *ImageJ*, dilakukan kuantifikasi sehingga menjadi nilai luas daun dan luas bercak dengan warna yang berbeda-beda. Contoh hasil *ImageJ* pada satu tipe daun keladi dapat dilihat pada Gambar 1.

Ketujuh tipe keladi menunjukkan adanya variasi pada luas daun dan proporsi luas bercak variegata sebagai respon terhadap perlakuan naungan (Tabel 1). Luas daun dan persentase luas warna hijau pada daun cenderung lebih besar pada tanaman yang berada di naungan 70% daripada naungan 0%. Tanaman V0, V1, V2, V4, dan V6 pada naungan 0% menunjukkan persentase luas bercak merah yang lebih besar dibandingkan pada naungan 70%, meskipun analisis statistik tidak nyata membedakan, kecuali pada tanaman V4. Tipe tanaman yang memiliki bercak putih yaitu V2, V3, V4, dan V5 juga tampak dipengaruhi oleh kondisi naungan yang berbeda; tanaman V2 dan V5 memiliki persentase luas bercak putih yang lebih besar pada naungan 70%, sebaliknya pada tanaman V3 dan V4, persentase luas bercak putih lebih besar pada naungan 0%.

Tanaman pada tingkat naungan 0 dan 70% menyebabkan respon morfologi daun yang berbeda. Pengamatan anatomi daun menunjukkan bahwa daun dari semua tipe tanaman keladi memperlihatkan beberapa tipe sel penyusun daun dengan warna yang berbeda-beda, yaitu jaringan palisade ada bagian yang berwarna hijau, ada yang berwarna merah, dan ada



Gambar 1. Contoh hasil *ImageJ* pengukuran luas daun dan bercak warna daun *Caladium* pada tanaman V2. Citra warna putih menunjukkan bagian daun yang dihitung; (A) luas seluruh daun; (B) warna hijau; (C) bercak putih; (D) bercak merah

Tabel 1. Luas daun dan persentase luas bercak variegata pada tujuh tipe tanaman keladi hias di bawah naungan 0 dan 70%

Tanaman	Parameter	Perlakuan naungan (%)		Keterangan
		0	70	
V0	Luas daun (mm ²)	229,427	328,780	tn
	Bagian warna hijau (%)	91,554	95,355	tn
	Bagian bercak merah (%)	8,446	4,645	tn
V1	Luas daun (mm ²)	405,407	304,763	tn
	Bagian warna hijau (%)	44,035	52,997	tn
	Bagian bercak merah (%)	55,965	47,003	tn
V2	Luas daun (mm ²)	882,943	940,843	tn
	Bagian warna hijau (%)	44,964	46,066	tn
	Bagian bercak merah (%)	10,31	9,034	tn
	Bagian bercak putih (%)	44,717	44,900	tn
V3	Luas daun (mm ²)	97,140	136,733	tn
	Bagian warna hijau (%)	65,088	81,614	tn
	Bagian bercak putih (%)	34,912	18,386	tn
V4	Luas daun (mm ²)	807,697	1911,767	*
	Bagian warna hijau (%)	74,706	76,591	*
	Bagian bercak merah (%)	16,862	15,654	*
	Bagian bercak putih (%)	8,432	7,760	*
V5	Luas daun (mm ²)	694,247	1164,850	tn
	Bagian warna hijau (%)	96,558	92,325	tn
	Bagian bercak putih (%)	3,442	7,675	*
V6	Luas daun (mm ²)	1484,453	1107,533	tn
	Bagian warna hijau (%)	80,663	83,195	tn
	Bagian bercak merah (%)	19,337	16,805	tn

Diukur pada hari ke-45 setelah perlakuan. Tanda () menunjukkan hasil berbeda signifikan antar-perlakuan naungan, sedangkan (tn) tidak berbeda signifikan, berdasarkan uji Mann-Whitney U ($\alpha = 0,05$). Data adalah nilai rataan dari $n = 3$

yang transparan (tidak berwarna) yang merupakan bercak variegata yang tampak putih jika diamati pada permukaan daun. Penampang melintang daun *Caladium* dengan tiga warna (tipe V2) menunjukkan sel-sel palisade berwarna hijau dengan bentuk memanjang, sedangkan sel-sel mesofil yang berwarna merah dan transparan berbentuk membentuk bulat, dan jaringan spons di bawahnya rapat serta transparan (Gambar 2).

Ketebalan Daun. Ketebalan daun *Caladium* pada kedua perlakuan naungan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Mann Whitney U (Tabel 2). Namun, terlihat kecenderungan bahwa daun tanaman pada naungan 0% lebih tebal daripada daun pada naungan 70%.

Kadar Klorofil, Karotenoid, dan Antosianin. Kadar pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin bervariasi menurut tipe tanaman keladi serta perlakuan naungannya. Kadar klorofil total tanaman V3 pada naungan 0% paling rendah dibandingkan tipe tanaman lainnya, diikuti oleh tanaman V1 pada 70% naungan (Gambar 3). Kadar klorofil V3 menjadi lebih besar bila diberi naungan 70%, dan sebaliknya untuk V1 yang kadar klorofilnya lebih tinggi pada kondisi tanpa naungan. Tanaman V4 memiliki kadar klorofil total paling tinggi pada naungan 70% dibandingkan dengan tipe tanaman lainnya, dan lebih rendah bila tanpa naungan. Tanaman V1 dan V3 mengandung karotenoid paling rendah di naungan 0% dibandingkan tipe keladi lainnya dan meningkat pada naungan 70%, sementara V6 memiliki kadar karotenoid tertinggi. Kadar karotenoid tipe tanaman lainnya di kedua tingkat naungan bervariasi di antara kedua nilai tersebut. Kadar antosianin paling tinggi dimiliki oleh V0 dan V1, diikuti oleh V6 pada 0% naungan; paling rendah ditunjukkan oleh V2 dan V3 pada naungan 70%. Tanaman V3 dan V5, yang tidak terlihat memiliki bercak merah, juga mengandung antosianin dengan kadar rendah.

Laju Fotosintesis. Hasil pengukuran laju fotosintesis neto (Gambar 4) menunjukkan perbedaan nilai pada PPFD yang berbeda. Nilai Pn pada PPFD 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ seluruh tanaman, pada naungan

0 dan 70% menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan PPFD 400 dan 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Laju fotosintesis berangsang meningkat ketika PPFD ditingkatkan, baik pada naungan 0 maupun 70%. Fotosintesis neto pada tanaman yang terpapar cahaya langsung (0%) sebagian besar secara nyata lebih tinggi dibandingkan tanaman yang ternaungi (70%). Walaupun secara statistik tidak nyata berbeda pada beberapa tipe tanaman, namun kecenderungan tersebut masih tampak. Berdasarkan ANOVA dua faktor pada PPFD 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, terdapat interaksi antara tipe tanaman dan tingkat naungan. Nilai Pn tidak berbeda antar tipe tanaman, namun dalam kondisi tanpa naungan tanaman V6 menunjukkan nilai Pn paling tinggi, yang nyata berbeda dengan V3 yang Pn nya paling rendah.

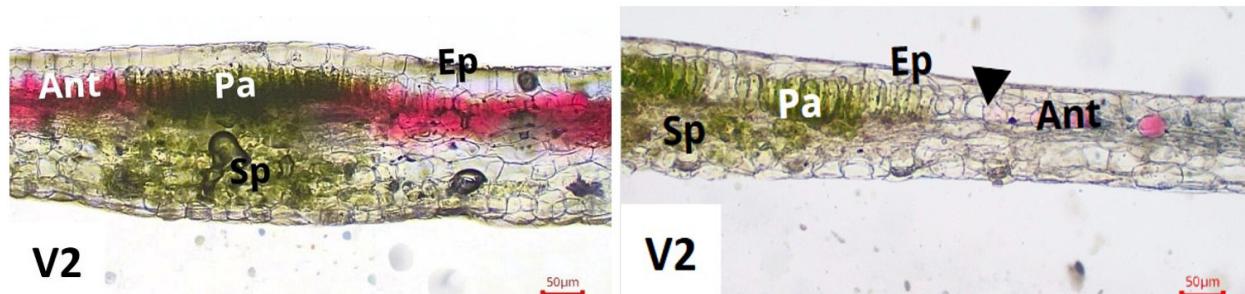
PEMBAHASAN

Tanaman yang tumbuh pada kondisi ternaungi (70%) umumnya cenderung memiliki luas permukaan daun yang lebih besar dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh pada lingkungan yang terpapar sinar matahari secara langsung. Sesuai dengan yang dikemukakan oleh Chairudin *et al.* (2015), luas permukaan daun yang lebih besar pada tanaman yang ternaungi merupakan salah satu mekanisme toleransi untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya dan memelihara keseimbangan fotosintat. Dengan demikian, daun yang lebar dan tipis pada tanaman

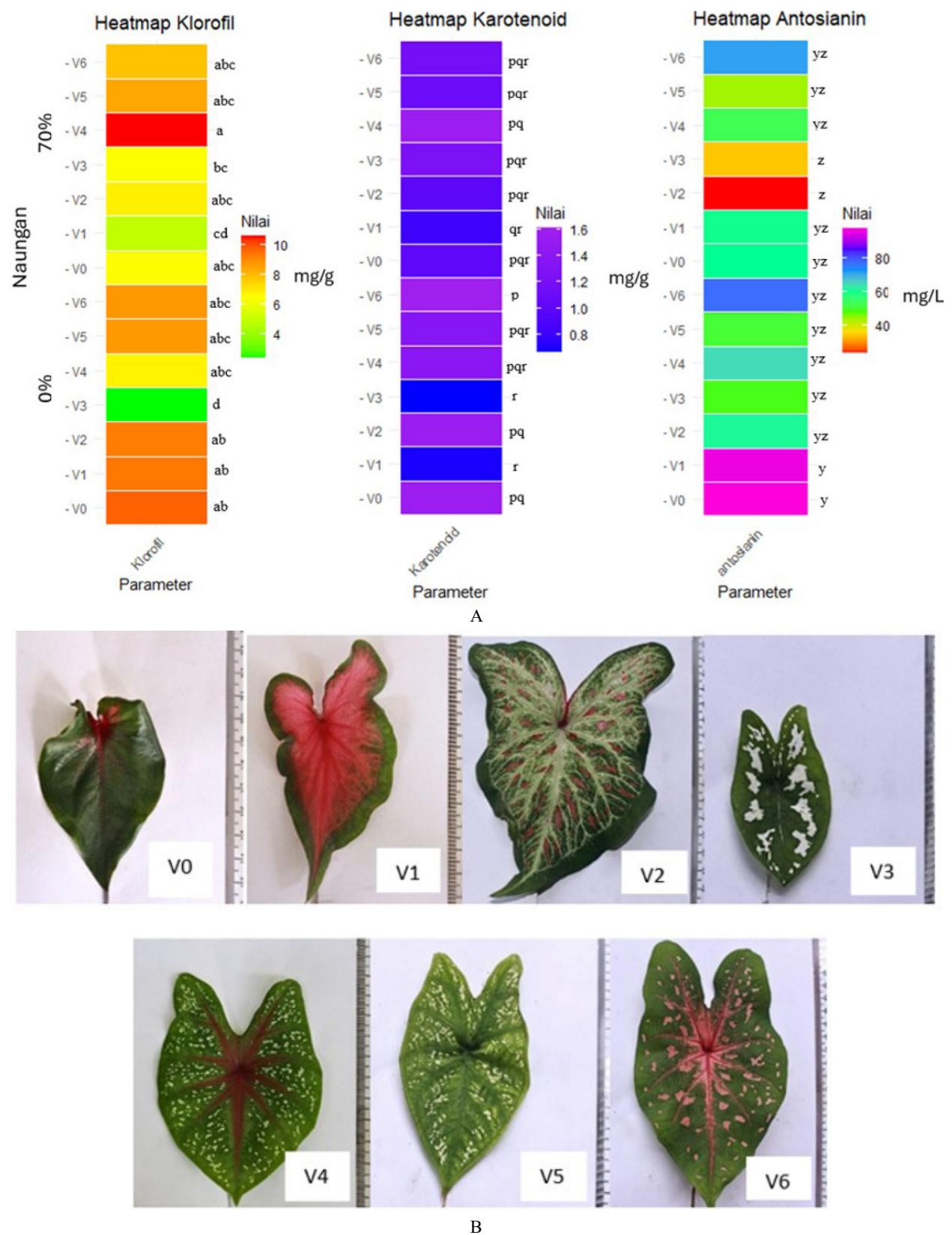
Tabel 2. Ketebalan daun tujuh tipe tanaman keladi hias pada perlakuan naungan berbeda

Tipe tanaman	Tebal daun (μm) pada perlakuan naungan	
	0%	70%
V0	240,979	224,645
V1	201,909	191,178
V2	234,280	179,009
V3	170,514	127,638
V4	138,900	140,655
V5	212,396	148,482
V6	176,232	165,055

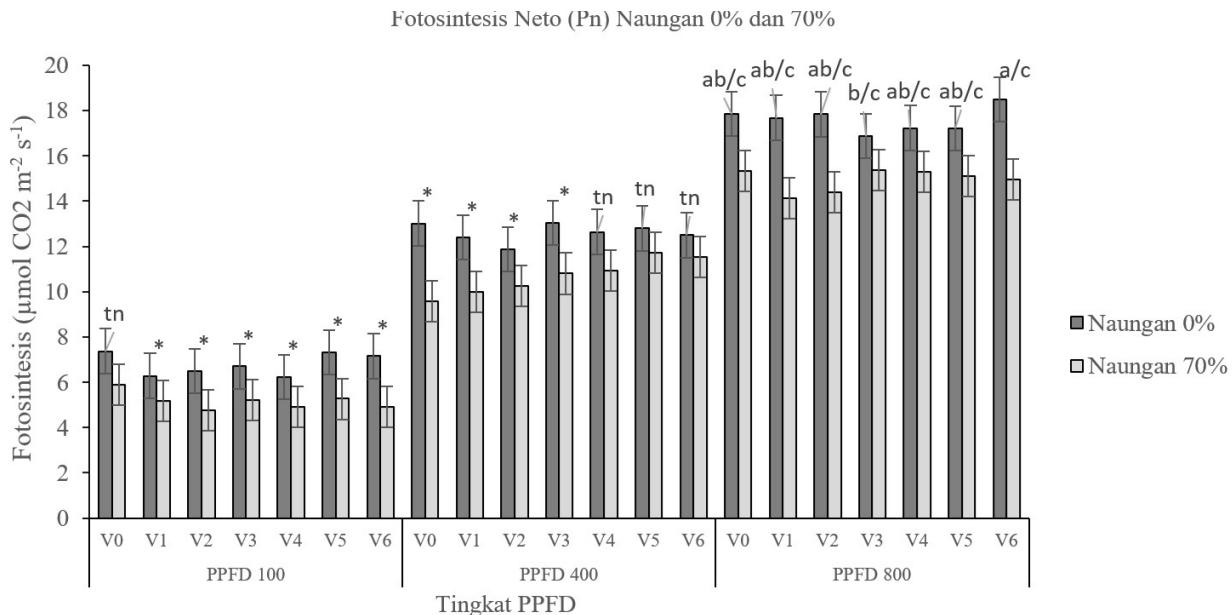
*Diamati pada hari ke-48 setelah perlakuan. Data adalah nilai rataan dari $n = 3$



Gambar 2. Contoh sayatan melintang daun keladi hias tipe V2 yang menunjukkan bagian anatominya. Epidermis (Ep); palisade (Pa); spons (sp); antosianin (Ant); tanda panah (▼) menunjukkan bagian tidak berpigmen. Skala = 50 μm



Gambar 3. *Heatmap* perbandingan kadar pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin (A) disertai hasil DMRT pada $\alpha = 0,05$ untuk masing-masing pigmen, dan corak serta ukuran daun tujuh tipe daun keladi hias variegata (B)



Gambar 4. Laju fotosintesis (Pn) pada tujuh tipe tanaman keladi hias pada tingkat PPF berbeda (100, 400, dan 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pada perlakuan naungan 0 dan 70%. Hasil berbeda signifikan ditunjukkan dengan tanda (*) sedangkan hasil tidak berbeda signifikan ditunjukkan dengan tanda (tn) berdasarkan uji Mann Whitney U ($\alpha = 0,05$) untuk analisis one way; huruf a, b, ab, c membedakan hasil interaksi antara tipe tanaman dan perlakuan naungan melalui DMRT ($\alpha = 0,05$)

yang ternaungi memungkinkan untuk menangkap cahaya yang lebih banyak. Cahaya yang ditangkap akan diteruskan dengan cepat ke jaringan daun yang lebih bawah, sehingga fotosintesis berlangsung secara maksimal (Kisman *et al.* 2007). Sebaliknya, tanaman yang terpapar cahaya matahari langsung (0%) memiliki daun dengan luas yang lebih sempit dan lebih tebal. Tanaman yang langsung terpapar sinar matahari dalam rentang waktu yang cukup lama akan beradaptasi dengan cara memperkecil luas permukaan daun dan menebalkan lapisan palisade, sehingga daun akan menjadi lebih tebal, dan banyak mengandung pati (Peterson 1986).

Permukaan daun tanaman keladi hias memiliki corak variegata yang beragam, akibat pola sebaran pigmen (pigmentasi) yang berbeda-beda pada daun, antara lain pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin. Setiap pigmen dapat terletak pada jaringan atau organel yang sama atau berbeda. Masing-masing pigmen memiliki fungsi yang berbeda untuk menunjang pertumbuhan serta melindungi tanaman. Bercak berwarna merah disebabkan oleh kandungan antosianin (Gambar 2). Bercak berwarna putih dan merah terdiri dari sel-sel mesofil yang tidak berdiferensiasi sempurna menjadi jaringan palisade dan spons, sehingga klorofil kurang berkembang pada bagian tersebut (Chen *et al.* 2017; Hasidah *et al.* 2017). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, yang menunjukkan bahwa pada bagian berwarna putih dan merah, sel-sel palisade tidak tampak, digantikan oleh sel-sel berbentuk membulat; bahkan sel-sel spons di bawahnya tidak berklorofil. Chen *et al.* (2017) mengidentifikasi sel-sel spons tidak berklorofil yang ukurannya lebih besar, dan ada

rongga udara di antara jaringan epidermis adaksial dan abaksial di area yang berbercak putih. Rongga udara tidak teramat pada penelitian ini.

Kandungan klorofil dan antosianin pada semua tipe tanaman bervariasi ketika ditempatkan pada kondisi naungan yang berbeda. Kadar klorofil yang meningkat pada tanaman yang terpapar sinar matahari secara langsung disebabkan oleh mekanisme proteksi oleh karotenoid. Karotenoid berperan sebagai fotoprotektor dan pigmen aksesoris untuk klorofil. Pigmen aksesoris dibutuhkan oleh klorofil untuk mengoptimalkan pengikatan foton dari cahaya matahari pada saat reaksi terang (Khafid *et al.* 2021). Menurut Latifa *et al.* (2021) kandungan klorofil pada musim panas pada umumnya akan lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti intensitas cahaya, suhu, kelembapan, dan pH media tumbuhnya. Hal ini selaras dengan hasil penelitian ini, yang menunjukkan bahwa klorofil pada mayoritas tanaman yang terpapar cahaya matahari langsung (naungan 0%) lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman dalam kondisi yang ternaungi (70%). Paparan cahaya pada 0% pada pagi hari, yang terukur sekitar 37.000 lux, termasuk tinggi; tanaman miana (*Plectranthus scutellarioides*) memerlukan kondisi ideal sebesar 11.700 lux per 12 jam (Francini *et al.* 2023). Pada tanaman yang ternaungi, peningkatan kadar klorofil, seperti pada tanaman V3 dan V4, bertujuan untuk memaksimalkan penyerapan cahaya untuk fotosintesinya (Ulinnuha dan Dinuariah 2021). Kadar klorofil tanaman V3 dan V4 yang nyata lebih rendah pada naungan 0% disertai dengan kandungan karotenoid rendah, menimbulkan

dugaan bahwa paparan sinar matahari langsung pada perlakuan 0% merusak klorofil dan karotenoid. V4 memiliki kadar klorofil total serta karotenoid tinggi pada naungan 70%. Patut diduga bahwa tanaman V3 dan V4 merupakan tanaman yang lebih suka-naungan. Hal sebaliknya teramat pada tanaman V1, yang memiliki kadar klorofil rendah pada naungan 70% dan tinggi setara dengan umumnya tipe lain di 0% naungan.

Secara umum, kandungan karotenoid dan antosianin pada tanaman keladi yang terpapar cahaya matahari secara langsung lebih tinggi. β -karoten dapat dihidroksilasi menjadi xantofil lutein dan violaxantin yang dapat berubah menjadi zeaxantin. Interkonversi itu biasa terjadi dan menjadi mekanisme perlindungan tumbuhan terhadap intensitas cahaya yang tinggi (Sun *et al.* 2022). Biosintesis karotenoid dapat dipengaruhi oleh intensitas cahaya, karena cahaya dapat meningkatkan enzim karotenoid hidroksilase (CH) dan fitoene sintase (PSY). Peningkatan enzim PSY, yang merupakan enzim penentu biosintesis karotenoid dapat meningkatkan kadar karotenoid pada tumbuhan (Sun *et al.* 2022). Antosianin merupakan salah satu senyawa golongan flavonoid dan merupakan pigmen sitoplasma yang berperan dalam melindungi organel fotosintesis, yakni kloroplas, dari paparan intensitas cahaya yang tinggi (Nguyen dan Cin 2009) dengan berperan menyerap kelebihan cahaya tampak (Zhao *et al.* 2022). Paparan cahaya yang langsung diterima oleh tanaman dapat meningkatkan sintesis flavonoid, sehingga kadarnya akan meningkat, salah satunya antosianin. Kandungan pigmen pada tumbuhan berperan terhadap luas bercak variegata pada permukaan daun, maka tanaman yang tumbuh tanpa naungan dengan intensitas cahaya yang tinggi (0%) secara umum memiliki persentase luas bercak merah pada permukaan daun lebih besar dibandingkan dengan tanaman yang ternaungi (70%) (Tabel 1). Hal ini menjadikan warna daun variegata lebih mencolok dan cerah. Variegata pada daun memiliki fungsi sebagai kamuflase atau aposemitisme untuk melindungi diri terhadap predator herbivora (Lev-Yadun dan Niemelä 2017) atau berfungsi sebaliknya, yakni menarik serangga penyebuk pada tumbuhan berbunga (Ren *et al.* 2011; Song *et al.* 2018).

Intensitas cahaya yang tepat sangat dibutuhkan untuk meningkatkan laju fotosintesis; peningkatan intensitas cahaya dapat meningkatkan laju fotosintesis (Zhou *et al.* 2019). Sesuai dengan hal itu, peningkatan nilai fotosintesis neto (Pn) beriringan dengan meningkatnya PPFD. Selain itu nilai Pn pada tanaman yang terpapar cahaya matahari langsung lebih tinggi dibandingkan tanaman yang ternaungi (Gambar 4). Fotosintesis hanya menggunakan sebagian energi cahaya yang diserap oleh tumbuhan. Ketika energi

cahaya yang diserap melebihi kapasitas fotosintesis, maka sebagian akan dilepaskan dalam bentuk panas yang dikenal dengan *non-photochemical quenching* atau pendinginan non fotokimia (Miao *et al.* 2023). Tampaknya tanaman keladi hias yang diuji ini belum mencapai titik kompensasi cahaya pada PPFD 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ yang ditunjukkan dengan pola laju fotosintesis neto yang belum menurun.

Nilai Pn tanaman V3 pada 0% paling rendah, sesuai dengan kadar klorofil dan karotenoidnya yang paling rendah. Hal ini mempertegas bahwa V3 merupakan tanaman yang lebih suka-naungan (Gambar 3 dan 4). Tanaman V6 tanpa naungan, dengan kadar klorofil dan karotenoid yang cukup tinggi, menunjukkan nilai Pn paling tinggi pada PPFD 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Dapat diduga bahwa V6 selain tahan paparan cahaya langsung juga dapat menyelenggarakan proses fotosintesis dengan baik dalam kondisi tersebut. Tipe tanaman yang dominan variegata ternyata mengandung klorofil total dan kapasitas fotosintesis yang setara dengan tanaman V0 yang terlihat didominasi warna hijau. Hal ini membuktikan bahwa bercak variegata pada tanaman keladi tidak mengurangi kapasitas fotosintesis yang dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhannya.

Simpulan dari penelitian ini yaitu intensitas cahaya yang berbeda dapat menyebabkan perubahan morfologi, fisiologi, dan anatomi pada daun tanaman keladi hias. Tanaman yang terpapar cahaya langsung cenderung memiliki daun yang berukuran lebih kecil namun ketebalan daun dan luas bercak warna selain hijau lebih besar dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh ternaungi. Kadar pigmen klorofil total, karotenoid, dan antosianin bervariasi menurut tipe tanaman dan persentase naungan terhadap paparan cahaya matahari langsung. Fotosintesis neto (Pn) umumnya lebih tinggi pada tanaman tanpa naungan dibandingkan dengan naungan 70%. Berdasarkan kadar klorofil dan karotenoid, serta nilai Pn, tanaman V3 dan V4 dapat diduga lebih suka naungan; sedangkan tanaman V6 lebih suka-cahaya. Walaupun daun keladi hias dengan berbagai pola pigmentasi memiliki kadar klorofil yang bervariasi, mereka mampu melakukan fotosintesis neto yang setara satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anania A, Mukarlina, Linda R. 2017. Pertumbuhan dan kandungan pigmen tanaman keladi (*Caladium bicolor* Aiton. Vent) pada tanah yang merkuri (HgCl_2). *Jurnal Protobiont* 6:215-221.
- Buschmann C, Langsdorf G, Lichtenhaller HK. 2016. Imaging of the blue, green, and red fluorescence emission of plants: an overview. *Photosynthetica* 38:483-491. <https://doi.org/10.1023/A:1012440903014>
- Chairudin, Efendi, Sabaruddin. 2015. Dampak naungan terhadap perubahan karakter agronomi dan morfo-fisiologi daun pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). *Jurnal Floratek* 10:26-35.

- Chen YS, Chesson P, Wu HW, Pao SH, Liu JW, Chien LF, Yong JWH, Sheue CR. 2017. Leaf structure affects a plant's appearance: combined multiple-mechanisms intensify remarkable foliar variegation. *Journal of Plant Research* 130:311-325. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0890-4>
- Deng Z, Peres NA, Desaeger J. 2022. Four new *Caladium* cultivars, UF-R1410, UF-15-21, UF-15-441, and UF-16-597, for containers and landscapes. *HortScience* 57:665-673. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16566-22>
- Francini A, Toscano S, Antonio Ferrante A, Daniela Romano D. 2023. Method for selecting ornamental species for different shading intensity in urban green spaces. *Frontiers in Plant Science* 14:1271341. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1271341>
- Gamon JA, Surfus JS. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist* 143:105-117. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>
- Hasidah, Mukarlina, Rousdy DW. 2017. Kandungan pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin daun *Caladium*. *Jurnal Protobiont* 6:29-37.
- Huo J, Zhang N, Gong Y, Bao Y, Li Y, Zhang L, Nie S. 2024. Effects of different light intensity on leaf color changes in a Chinese cabbage yellow cotyledon mutant. *Frontiers in Plant Science* 15:1371451. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1371451>
- Khafid A, Suedy SWA, Nurchayati Y. 2021. Kandungan klorofil dan karotenoid daun salam (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walp.) pada umur yang berbeda. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 6:74-80. <https://doi.org/10.14710/baf.6.1.2021.74-80>
- Kisman, Khumaida N, Trikoesoemaningtyas, Sobir, Sopandie D. 2007. Karakter morfo-fisiologi daun, penciri adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah. *Buletin Agrohorti* 35:96-102.
- Latifa R, Nurrohman E, Hadi S. 2021. Study of forest types, inventory of tree, and chlorophyll contents of Malabar forest leaves, Malang City. *Bioscience* 5:32-43. <https://doi.org/10.24036/020215111466-0-00>
- Lev-Yadun S, Niemelä P. 2017. Leaf pseudo-variegation: Definition, common types, and probably the defended models for real defensive leaf variegation mimicking them? *Flora* 226:82-88. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.11.010>
- Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148:350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Miao C, Yang S, Su J, Wang H, Zhang Y, Cui J, Zhang H, Jin H, Lu P, He L, Yu J, Zhou Q, Ding X. 2023. Effects of light intensity on growth and quality of lettuce and spinach cultivars in a plant factory. *Plants Journal* 12:3337. <https://doi.org/10.3390/plants12183337>
- Nguyen P, Cin VD. 2009. The role of light on foliage colour development in coleus (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd). *Plant Physiology and Biochemistry* 47:934-945. <https://doi.org/10.1016/j.jplphys.2009.06.006>
- Pebrianti C, Ainurrasyid RB, Purnamaningsih SL. 2015. Uji kadar antosianin dan hasil enam varietas tanaman bayam merah (*Alternanthera amoena* Voss) pada musim hujan. *Jurnal Produksi Tanaman* 3:27-31.
- Peterson JC. 1986. The impact of leaf anatomy on Ficus survival indoors. *Interior Landscape Industry* 3:30-35.
- Ren ZX, Li DZ, Bernhardt P, Hong Wang H. 2011. Flowers of *Cypripedium fargesii* (Orchidaceae) fool flat-footed flies (Platypezidae) by faking fungus-infected foliage. *PNAS* 108:7478-7480. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103384108>
- Rocca NL, Rascio N, Pupillo P. 2011. Variegation in *Arum italicum* leaves. A structural-functional study. *Plant Physiology and Biochemistry* 49:1392-1398. <https://doi.org/10.1016/j.jplphys.2011.09.009>
- Song B, Stöcklin J, Armbruster WS, Gao Y, Peng D, Sun H. 2018. Reversible colour change in leaves enhances pollinator attraction and reproductive success in *Saururus chinensis* (Saururaceae). *Annals of Botany* 121:641-650. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx195>
- Sun T, Rao S, Zhou X, Li L. 2022. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture* 2:3. <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>
- Supratman AR, Purwantoro A. 2021. Karakteristik tanaman keladi hias (*Caladium* spp.) berdasarkan penanda molekuler RAPD. *Vegetalika* 10:287-298. <https://doi.org/10.22146/veg.37168>
- Suzery M, Lestari S, Cahyono B. 2010. Penentuan total antosianin dari kelopak bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa* L) dengan metode maserasi dan sokshletasi. *Jurnal Sains dan Matematika* 1:1-6.
- Ulinnuha Z, Dinuariah I. 2021. Respon morfofisiologi *Cryptanthus zonatus* pada cekaman intensitas cahaya rendah. *Jurnal Ilmiah Media Agrosains* 7:16-22.
- Yang W, Lin Y, Xue Y, Mao M, Zhou X, Hu H, Liu J, Feng L, Zhang H, Luo J, Ma J. 2022. Light intensity affects the coloration and structure of chimeric leaves of *Ananas comosus* var. bracteatus. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 91:333-348. <https://doi.org/10.32604/phyton.2022.016862>
- Zhang JH, Zeng JC, Wang XM, Chen SF, Albach DC, Li HQ. 2020. A revised classification of leaf variegation types. *Flora-Morphology Distribution Functional Ecology of Plants Journal* 272:15170. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151703>
- Zhao S, Blum JA, Ma F, Wang Y, Borejsza-Wysocka E, Ma F, Cheng L, Li P. 2022. Anthocyanin accumulation provides protection against high light stress while reducing photosynthesis in apple leaves. *International Journal of Molecular Sciences* 23:12616. <https://doi.org/10.3390/ijms232012616>
- Zhou J, Li P, Wang J, Fu W. 2019. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake at different light intensities and temperatures in lettuce. *Hort Science* 54:1925-1933. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14161-19>