



Pengaruh Warna Cahaya LED dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin Microgreens Kubis Merah (*Brassica oleracea* vr. *Capitata* f. *Rubra*)

Effect of LED Color and Irradiation Duration on Growth and Anthocyanin Content of Red Cabbage (*Brassica Oleracea* Vr. *Capitata* F. *Rubra*) Microgreens

Rr. Ragil Panca Pangestika^{1*}, Sutarno², Karno³

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro

^{1*}E-mail: pancapangestika@gmail.com

ABSTRAK

Microgreens adalah sayuran yang dipanen muda dan dapat dibudidayakan dalam ruangan. Budidaya dalam ruangan perlu memperhatikan kondisi lingkungan terutama pencahayaan dan lama penyinaran. Penelitian bertujuan untuk mengkaji warna cahaya LED dan lama penyinaran yang tepat untuk pertumbuhan microgreens kubis merah. Penelitian dilakukan pada Januari – Februari 2022 di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman serta Laboratorium Fisiologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial 4 x 4 dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah warna cahaya LED yang terdiri dari P1: 100% putih, P2: 50% merah + 50% biru, P3: 70% merah + 30% biru, P4: 30% merah + 70% biru. Faktor kedua adalah lama penyinaran terdiri dari R1 : 12 jam/hari, R2: 16 jam/hari, R3: 20 jam/ hari, R4: 24 jam/hari. Data dianalisis ragam dan diuji lanjut dengan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5%. Hasil menunjukkan bahwa warna cahaya LED berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, berat tajuk, dan kandungan antosianin microgreens kubis merah, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil total dan karotenoid. Penyinaran menggunakan warna cahaya LED 30% merah + 70% biru selama 24 jam dapat meningkatkan kandungan antosianin pada microgreens kubis merah.

Kata kunci: *Antosianin, Cahaya, Lama Penyinaran, Microgreens*

ABSTRACT

Microgreens are vegetables that can be harvested when young and cultivated indoor. Indoor cultivation needs to pay attention to environmental conditions, especially lighting and duration of irradiation. The aim of the study was to examine the color of LED light and the appropriate duration of irradiation for the growth of red cabbage microgreens. The research was performed on January – February 2022 at the Ecology and Plant Production Laboratory as well as the Plant Physiology and Production Laboratory, Faculty of Animal and Agriculture Sciences, Diponegoro University. The experimental design used was a completely randomized design (CRD) with a factorial pattern 4 x 4 with 3 replications. The first factor is the color of the LED light which consists of P1: 100% white, P2: 50% red + 50% blue, P3: 70% red + 30% blue, P4: 30% red + 70% blue. The second factor is the length of irradiation consisting of R1: 12 hours/day, R2: 16 hours/day, R3: 20 hours/day, R4: 24 hours/day. The data were analyzed for variance and further tested with Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5%. The results showed that the color of LED light significantly affected plant height, root length, fresh weight, and anthocyanin content of red cabbage microgreens, but had no significant effect on total chlorophyll and carotenoid content. Radiation using 30% red + 70% blue LED light for 24 hours can increase the anthocyanin content in red cabbage microgreens.

Keywords: *Anthocyanin, Light, Irradiation duration, Microgreens*

PENDAHULUAN

Urban farming di Indonesia semakin meningkat karena keterbatasan lahan pertanian dan munculnya pandemi virus COVID-19. Luas lahan pertanian di Indonesia mengalami peningkatan di tahun 2019 menjadi 7.46 juta ha dari tahun sebelumnya, namun masih belum kembali seperti tahun 2017 yaitu 8.19 juta ha (BPS, 2020). Sistem budidaya *indoor* dapat memanfaatkan lahan sempit seperti menanam *microgreens*. *Microgreens* menjadi sayuran populer karena memiliki rasa, warna, dan tekstur yang unik (Sun *et al.*, 2013). *Microgreens* juga memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dari sayuran yang dipanen dalam keadaan dewasa. *Microgreens* kubis merah (*Brassica oleracea* vr. *Capitata* f. *Rubra*) mulai digemari masyarakat sebagai hiasan hidangan, salad, atau dikonsumsi segar. Tunas muda kubis merah memiliki kandungan antosianin, vitamin C, polifenol, protein, mineral, dan glukosinolat (Drozdowska *et al.*, 2020). Kandungan nutrisi tersebut menjadikan *microgreens* kubis merah dapat meningkatkan kesehatan. Kubis merah memiliki manfaat sebagai anti inflamasi, anti kanker, mencegah sembelit, mengurangi resiko kolesterol, menurunkan gula darah, mengurangi resiko penyakit jantung dan diabetes (Chauhan *et al.*, 2016).

Budidaya secara *indoor* akan memperkecil serangan hama pada tanaman yang dibudidayakan. Budidaya dalam ruangan juga memungkinkan pembudidaya untuk memanipulasi kondisi lingkungan bagi tanaman agar tumbuh dengan optimal (Kozai *et al.*, 2019). Pencahayaan merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan tanaman yang dibudidaya dalam ruangan. Lampu LED (*Light Emitting Diode*) umum digunakan untuk produksi sayuran dalam ruangan karena mampu menjadi pengganti sumber cahaya matahari (Bantis *et al.*, 2018). Cahaya biru dan merah memiliki peran besar dalam berlangsungnya proses fotosintesis tanaman. Klorofil pada tanaman banyak menyerap cahaya biru sehingga fotosintesis berlangsung optimal sedangkan fitokrom-pigmen merah menyerap cahaya merah sehingga mengakibatkan ukuran tanaman menjadi lebih besar (Syafriyudin dan Ledde, 2015).

Kombinasi lampu LED merah dan biru memberikan aktivitas fotosintesis yang lebih tinggi dibandingkan dengan cahaya tunggal merah atau biru, karena mampu menghasilkan eksitasi fotoreseptor termasuk fitokrom, kriptokrom, dan fototropin lebih baik (Sabzalian *et al.*, 2014). Kombinasi cahaya biru dan merah dapat mempengaruhi peningkatan biomassa dan fitokimia tanaman. Penyinaran di bawah lampu LED cahaya biru dan merah secara signifikan meningkatkan biomassa sekaligus meningkatkan juga kandungan senyawa fenolik dan antosianin yang terdapat pada *microgreens* kemangi merah (*Ocimum basilicum* L.) (Lobiuc *et al.*, 2017). Penelitian juga menunjukkan bahwa *microgreens* kubis pada perlakuan pencahayaan dengan LED 15% biru dan 85% merah memiliki berat basah dan berat kering yang tinggi, sedangkan pada perlakuan pencahayaan LED 5% biru dan 95% merah berpengaruh baik untuk *microgreens* kale, arugula dan sawi (Ying *et al.*, 2020).

Pencahayaan tanaman dalam budidaya dalam ruangan perlu memperhatikan juga lamanya penyinaran. Pemberian lama pencahayaan yang optimum pada tanaman akan dapat mengoptimalkan juga proses fotosintesis, sehingga pertumbuhan tanaman akan meningkat (Primadani dan Maghfoer, 2018). Penelitian menunjukkan bahwa cahaya biru dan merah dapat meningkatkan pertumbuhan elongasi dibawah penyinaran selama 16 jam untuk tanaman hijau, namun pengaruh lampu cahaya biru terhadap pemanjangan lebih terlihat pada lama pencahayaan 24 jam (Kong *et al.*, 2019). Lama penyinaran untuk budidaya *microgreens* kebanyakan menggunakan 16 jam/hari. Penelitian menunjukkan intensitas cahaya yang tinggi dan fotoperiodisme yang lama seperti 18 jam/hari memiliki efek signifikan terhadap pertumbuhan yaitu bobot segar dan bobot kering selada (Kang *et al.*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kombinasi warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan dan kandungan antosianin *microgreens* kubis merah.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Januari – Februari 2022 di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman serta Laboratorium Fisiologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah. Bahan yang digunakan adalah benih tanaman kubis merah, *cocopeat*, air, dan alkohol 80%. Alat yang digunakan yaitu wadah plastik ukuran 10.9 x 8.3 x 5.9 cm, sprayer, lampu LED warna putih, biru, merah, baja ringan, plywood, kabel tembaga serabut, aluminium foil, *timer*, paranet 70%, timbangan digital, penggaris, gunting, mortar dan alu, erlenmeyer, dan spektrofotometer.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial 4 x 4 dengan 3 ulangan, sehingga terdapat 48 unit percobaan. Faktor pertama adalah warna cahaya LED yang terdiri

dari P1: 100% putih, P2: 50% merah + 50% biru, P3: 70% merah + 30% biru, P4: 30% merah + 70% biru. Faktor kedua yaitu lama penyinaran terdiri dari R1 : 12 jam/hari, R2: 16 jam/hari, R3: 20 jam/hari, R4: 24 jam/hari.

Prosedur penelitian ini dimulai dengan pembuatan *grow box* sebanyak 48 dengan masing-masing unit berukuran 20 x 25 x 33 cm, lalu setiap unit *grow box* dipasang LED yang berisi 10 mata lampu dengan jarak 30 cm dari permukaan media tanam. LED yang digunakan yaitu lampu HPL (*High Power LED*) dengan daya 1 watt per mata lampu dan memiliki panjang gelombang 620 - 625 nm untuk spektrum warna merah dan 450 – 455 nm untuk spektrum warna biru. Media tanam berupa *cocopeat* dimasukkan ke dalam wadah plastik lalu dibasahi dengan air hingga lembab. Penyemaian dilakukan dengan menyebarkan 200 benih *microgreens* kubis merah dalam wadah berisi media tanam, kemudian disemprot dengan air. Benih yang telah disemai diletakkan pada *grow box* tanpa diberi penyinaran terlebih dahulu selama 5 hari, setelah itu lampu dinyalakan. Penyinaran dilakukan pukul 21.00, 18.00, 15.00 WIB dengan lama penyinaran sesuai perlakuan. Pengaturan waktu dilakukan dengan menggunakan timer yang telah dipasangkan dengan LED. Pemberian penyinaran dilakukan selama 9 hari. Pemeliharaan dilakukan dengan disemprotkan air pada media tanam hingga basah setiap sehari sekali. Pengamatan dilakukan setiap 3 hari sekali dengan mengamati parameter yang telah ditentukan. Pemanenan dilakukan pada umur 14 hari setelah tanam dengan pangkal batang yang dekat dengan media tanam dipotong menggunakan gunting. Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi tinggi *microgreens*, panjang akar, berat segar tajuk, kandungan klorofil total, kandungan karotenoid, dan kandungan antosianin.

Analisis Kandungan Klorofil dan Karotenoid

Analisis kandungan klorofil dan karotenoid dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan cara dengan cara sampel sebanyak 0,25 g dihaluskan, kemudian dilarutkan dengan alkohol 80% sebanyak 25 ml. Ekstrak disaring dengan kertas whatman kemudian dimasukkan ke dalam kuvet untuk diukur absorbansinya. Panjang gelombang yang digunakan yaitu 480nm, 663 nm, dan 645 nm. Rumus perhitungan kadar klorofil sebagai berikut (Fadhullah *et al.*, 2020).

$$\text{Total Klorofil (mg/g)} = [20,2 A_{645} + 8,02 A_{663}] \times V/1000 \times 1/W$$

$$\text{Karotenoid (mg/g)} = [(A_{480} + (0,114 \times A_{663})) - (0,638 \times A_{645} \times V \cdot 10^3)] : 112,5 \times W$$

Keterangan: V: volume dari ekstrak (mL) dan W: berat basah dari sampel (g)

Analisis Kandungan Antosianin

Pengukuran kandungan antosianin dilakukan dengan metode perbedaan pH. Sampel *microgreens* tiap perlakuan dihaluskan dengan mortar, lalu ditimbang masing-masing 1 g, dan diekstraksi dengan rotatory evaporator. Disiapkan 2 sampel larutan, larutan pertama adalah larutan untuk pH 1,0 menggunakan buffer KCl dan larutan kedua untuk pH 4.5 menggunakan buffer Na-Asetat. Masing-masing sampel *microgreens* dimasukkan ke dalam buffer, masing-masing sampai volume 10 mL (Faktor pengenceran = 10), lalu didiamkan selama 1jam, lalu disaring dengan kertas *whatman*. Sampel hasil pengenceran masing-masing dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 536 nm dan 700 nm dengan spektrofotometer. Nilai absorbansinya ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persamaan A} = [(A_{536-A700}) \text{ pH 1} - (A_{536-A700}) \text{ pH 4.5}]$$

$$\text{Total antosianin} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l}$$

Keterangan : A: nilai absorbansi, MW: *molecular weight* (449,2g/mol), DF: faktor pengenceran, ϵ : molar absorptivity cyaniding-3-glucoside (26900), l: tebal cuvet (1cm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap tinggi *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap tinggi *microgreens* kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 1.

Rr. Ragil Panca Pangestika, Sutarno, Karno: Pengaruh Warna Cahaya LED dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin *Microgreens* Kubis Merah (*Brassica oleracea* vr. *Capitata* f. *Rubra*)..(Hal. 701 - 711)

Tabel 1. Tinggi Tanaman *Microgreens* Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- cm -----				
100% Putih	4.53	4.89	4.47	4.44	4.58 ^b
50%Merah:50%Biru	4.52	4.76	4.01	3.73	4.26 ^c
70%Merah:30%Biru	5.16	4.88	4.78	4.45	4.82 ^a
30%Merah:70%Biru	4.73	4.29	3.96	3.93	4.23 ^c
Rata-rata	4.74 ^a	4.71 ^a	4.31 ^b	4.14 ^b	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan superskrip yang berbeda pada kolom atau baris rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut uji Duncan ($p < 0,05$)

Berdasarkan hasil uji Duncan diperoleh bahwa pemberian warna cahaya LED berpengaruh terhadap tinggi tanaman *microgreens* kubis merah (Tabel 1). Pemberian warna cahaya LED 70%Merah:30%Biru berbeda nyata dengan perlakuan 100%Putih, 50%Merah:50%Biru, dan 30%Merah:70%Biru. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *microgreens* kubis merah akan menghasilkan tinggi tanaman terbaik apabila disinari dengan kombinasi persentase cahaya merah lebih banyak dari cahaya biru seperti penelitian Ying *et al.* (2020) menghasilkan tinggi tanaman kale dan sawi terbaik dibawah penyinaran cahaya merah dan biru dengan persentase merah lebih banyak. Peningkatan persentase cahaya biru pada kombinasi cahaya merah dan biru menunjukkan penurunan tinggi tanaman. Penelitian oleh Vastakaite *et al.* (2015) menyatakan bahwa tinggi tanaman tatsoi, red pak choi, dan basil mengalami penurunan dengan peningkatan persentase penyinaran cahaya biru. Menurut Naznin *et al.* (2019) penghambatan tinggi tanaman dengan peningkatan cahaya LED biru diduga disebabkan kriptokrom yang distimulasi. Tinggi *microgreens* kubis merah yang berbeda menandakan bahwa cahaya merah dan cahaya biru diserap dan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Brazaityte *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa tumbuhan akan merespon cahaya biru (400-499nm), hijau (500-599nm), merah (600-700nm) yang secara signifikan akan mempengaruhi fotosintesis, morfologi dan metabolisme sekunder.

Lama penyinaran berpengaruh terhadap tinggi tanaman *microgreens* kubis merah. Perlakuan lama penyinaran 12 jam sama dengan perlakuan lama penyinaran 16 jam dan berbeda nyata lebih tinggi dari perlakuan lama penyinaran 20 jam dan 24 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang penyinaran akan menurunkan tinggi *microgreens* kubis merah. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Chen *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa lama penyinaran yang berkepanjangan menurunkan tinggi dan meningkatkan lebar kotiledon pada *microgreens* kale. Pertumbuhan *microgreens* kubis merah dengan lama penyinaran 12 jam/hari dan 16 jam/hari cukup baik dan memenuhi standar tinggi *microgreens* untuk dipanen. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ilakiya *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa *microgreens* umumnya memiliki tinggi 2,5 – 7,6 cm dan dapat dipanen pada 7 – 14 hari perkecambahan.

Panjang Akar

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap panjang akar *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap panjang akar kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Panjang Akar *Microgreens* Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- cm -----				
100% Putih	1.69	2.33	2.12	2.29	2.11 ^a
50%Merah:50%Biru	1.66	1.78	1.85	1.75	1.76 ^b
70%Merah:30%Biru	2.13	1.77	2.42	2.23	2.14 ^a
30%Merah:70%Biru	1.48	1.72	2.13	1.42	1.69 ^b
Rata-rata	1.74 ^b	1.90 ^{ab}	2.13 ^a	1.92 ^{ab}	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan superskrip yang berbeda pada kolom atau baris rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut uji Duncan ($p < 0,05$)

Berdasarkan hasil uji Duncan diperoleh hasil bahwa perlakuan warna cahaya 70% Merah : 30% biru tidak berbeda nyata dengan perlakuan warna cahaya LED 100% Putih, namun berbeda nyata dengan perlakuan 50% Merah : 50% Biru dan 30% Merah : 70% Biru. Pemberian perlakuan warna cahaya 50% Merah : 50% Biru tidak berbeda nyata dengan perlakuan 30% Merah : 70% Biru. Spektrum cahaya mempengaruhi pemanjangan akar tanaman. Hal ini diduga karena *microgreens* kubis merah mendapatkan spektrum cahaya yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, dugaan ini diperkuat oleh Ekawati (2017) yang menyatakan bahwa tanaman membutuhkan spektrum cahaya dengan panjang gelombang berkisar antara 400 – 700 nm untuk meningkatkan pertumbuhan. Penelitian ini menunjukkan semakin tinggi persentase cahaya merah pada kombinasi cahaya merah dan biru akan meningkatkan panjang akar *microgreens* kubis merah. Hal ini sesuai pernyataan Metallo *et al.* (2018) bahwa penyinaran cahaya biru dikombinasikan dengan cahaya merah dengan persentase merah lebih banyak mampu meningkatkan pemanjangan akar, batang, dan daun kale

Lama penyinaran berpengaruh terhadap tinggi *microgreens* kubis merah. Perlakuan lama penyinaran 20 jam tidak berbeda nyata dengan perlakuan 24 jam, namun berbeda nyata dengan perlakuan lama penyinaran 12 jam dan 16 jam. Hal ini sesuai dengan pernyataan As'adiya dan Muwarni (2021) yang menyatakan bahwa lama penyinaran berpengaruh terhadap panjang akar pada *microgreens* kangkung. Penyinaran 20 jam/hari pada *microgreens* kubis merah cukup untuk meningkatkan panjang akar apabila lama penyinaran diperpendek akan menurunkan panjang akar. Menurut Afidah *et al.* (2019) menyatakan bahwa lama penyinaran yang lebih panjang akan meningkatkan pertumbuhan tanaman karena proses fotosintesis yang terjadi lebih lama sehingga fotosintat yang dihasilkan lebih optimal.

Berat Segar Tajuk

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap berat segar tajuk *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap berat segar tajuk kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat Segar Tajuk Micogreens Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- g -----				
100% Putih	4,342	4,127	4,284	4,207	4,240 ^{ab}
50%Merah:50%Biru	4,088	4,641	4,007	3,911	4,162 ^{bc}
70%Merah:30%Biru	4,503	4,171	5,100	4,469	4,561 ^a
30%Merah:70%Biru	3,756	4,000	3,734	3,617	3,777 ^c
Rata-rata	4,172	4,235	4,281	4,051	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan superskrip yang berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut uji Duncan ($p < 0,05$)

Berdasarkan hasil uji Duncan diperoleh bahwa perlakuan warna cahaya LED 70% Merah : 30% Biru tidak berbeda nyata dengan perlakuan 100% Putih, akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan 50% Merah : 50% Biru dan 30% Merah : 70% Biru. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *microgreens* kubis merah akan menghasilkan pertumbuhan tinggi yang baik apabila disinari dengan kombinasi warna cahaya merah dan biru pada persentase spektrum cahaya merah yang lebih banyak dibanding warna biru. Hal ini sesuai dengan penelitian Ying *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa *microgreens* kubis yang ditanam dibawah kombinasi cahaya biru dan merah dengan persentase 15% biru dan 85% merah memiliki berat segar yang tinggi. Hal ini diperkuat dengan penelitian Pennisi *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa peningkatan persentase warna biru dalam kombinasi pencahayaan biru dan merah akan menurunkan berat segar pada tanaman basil. Penelitian Nurunisa *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penggunaan lampu LED untuk pertumbuhan tanaman yang baik yaitu mengandung paling tidak 10 – 20% cahaya biru dan 75 – 90% cahaya merah. Spektrum cahaya akan mempengaruhi proses fotosintesis pada tanaman, sehingga juga akan mempengaruhi biomassa pada tanaman tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wang *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa warna atau panjang gelombang cahaya dan intensitas cahaya sangat mempengaruhi proses fotosintesis dan biokimia untuk produksi biomassa pada tanaman.

Rr. Ragil Panca Pangestika, Sutarno, Karno: *Pengaruh Warna Cahaya LED dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin Microgreens Kubis Merah (Brassica oleracea vr. Capitata f. Rubra)..(Hal. 701 - 711)*

Pemberian perlakuan lama penyinaran pada seluruh taraf tidak berpengaruh terhadap berat segar tajuk tanaman *microgreens* kubis merah, padahal banyak penelitian yang menunjukkan adanya pengaruh lama penyinaran terhadap berat segar tanaman (Tabel 2). Penelitian Kang *et al.* (2013) menyatakan bahwa memperpanjang penyinaran akan berpengaruh secara signifikan pada berat segar tanaman. Hasil penelitian Liu *et al.* (2022) menyatakan bahwa perbedaan lama penyinaran (12, 14, 16, 18, 20 jam/hari) memberikan respon yang signifikan terhadap berat segar *microgreens* kailan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lama penyinaran tidak berpengaruh terhadap berat segar tajuk *microgreens* kubis merah, sehingga dapat disimpulkan bahwa lama penyinaran 16 jam/hari cukup untuk menumbuhkan tanaman kubis merah. Penelitian oleh Baumgardt *et al.* (2019) menunjukkan bahwa lama penyinaran 16 jam cukup untuk menumbuhkan *microgreens* famili *Brassicaceae*.

Kandungan Klorofil Total

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap kandungan klorofil total *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran tidak memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap kandungan klorofil total kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Klorofil Total Micogreens Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- mg/g -----				
100% Putih	0,603	0,591	0,615	0,688	0,624
50%Merah:50%Biru	0,641	0,626	0,471	0,585	0,581
70%Merah:30%Biru	0,562	0,560	0,617	0,481	0,555
30%Merah:70%Biru	0,563	0,591	0,567	0,601	0,581
Rata-rata	0,592	0,592	0,568	0,589	

Berdasarkan Tabel 4 perlakuan warna cahaya LED tidak berpengaruh terhadap kandungan klorofil total *microgreens* kubis merah. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian Meas *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa perlakuan spektrum cahaya berpengaruh terhadap kandungan klorofil a, klorofil b, dan klorofil total pada dua jenis *microgreens* bayam. Penelitian Wang *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kandungan klorofil tertinggi dibawah penyinaran kombinasi cahaya merah dan biru dibandingkan dibawah penyinaran merah saja dan biru saja. Pendapat tersebut diperkuat oleh Mujadin (2015) yang menyatakan bahwa cahaya merah dan cahaya biru berpengaruh paling baik untuk fotosintesis pada tanaman dikarenakan klorofil paling kuat menyerap cahaya merah (630-700 nm) dan cahaya biru (450-480 nm). Warna cahaya LED merah biru tidak berpengaruh pada kandungan klorofil *microgreens* kubis merah diduga karena tingkat persentase cahaya merah dan biru yang diberikan masih rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wollaeger dan Runkle (2015) yang menyatakan bahwa persentase penggunaan cahaya merah dan biru yang terlalu rendah akan menyebabkan berkurangnya biosintesis klorofil.

Perlakuan lama penyinaran tidak berpengaruh terhadap kandungan klorofil total *microgreens* kubis merah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Palmer dan Lersel (2020) menyatakan bahwa fotoperiode yang terlalu pendek akan mengurangi jumlah waktu dimana tanaman tersebut masih dapat menghasilkan klorofil. Hal ini diperkuat oleh penelitian Elkins dan Lersel (2020) menunjukkan bahwa lama penyinaran yang semakin panjang dapat meningkatkan serapan daun sehingga tingkat kandungan klorofil semakin tinggi. Berdasarkan pernyataan tersebut seharusnya semakin lama penyinaran yang diberikan maka diharapkan tanaman akan menyerap cahaya lebih banyak sehingga kandungan klorofil akan meningkat.

Kandungan Karotenoid

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap kandungan karotenoid *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran tidak memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap kandungan karotenoid kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan Karotenoid Micogreens Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- mg/g -----				
100% Putih	223,362	230,225	252,165	282,705	247,114
50%Merah:50%Biru	269,692	254,393	256,143	280,018	265,062
70%Merah:30%Biru	266,240	228,806	273,900	267,081	259,007
30%Merah:70%Biru	267,533	263,756	261,121	269,730	265,535
Rata-rata	256,707	244,295	260,832	274,884	

Berdasarkan Tabel 5 perlakuan warna cahaya LED tidak berpengaruh terhadap kandungan karotenoid *microgreens* kubis merah. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian Brazaityte *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa kombinasi warna LED biru dan merah dapat mempengaruhi kandungan karotenoid pada *microgreens Brassicaceae* (sawi, pak choi merah, tatsoi). Kombinasi warna cahaya tidak berpengaruh terhadap kandungan karotenoid merah diduga karena *microgreens* kubis merah memiliki respon berbeda terhadap penyinaran yang diberikan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Samuoliene *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa kandungan karotenoid tergantung pada persentase cahaya merah dan biru serta spesies tanaman. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Nurunisa *et al.*, (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan lampu LED untuk pertumbuhan tanaman yang baik yaitu mengandung paling tidak 10 – 20% cahaya biru dan 75 – 90% cahaya merah

Perlakuan lama penyinaran tidak berpengaruh terhadap kandungan karotenoid *microgreens* kubis merah. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian oleh Song *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa lama penyinaran berpengaruh secara nyata terhadap kandungan karotenoid pada tanaman selada. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2022) menyatakan bahwa kandungan karotenoid pada *microgreens* kubis dan kale meningkat seiring meningkatnya lama penyinaran dengan maksimum pada 16 jam/hari dan kemudian secara bertahap menurun. Berdasarkan pernyataan tersebut maka penyinaran selama 16 jam/hari dirasa cukup untuk *microgreens* kubis merah.

Kandungan Antosianin

Hasil dari analisis ragam menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara perlakuan warna cahaya LED dan lama penyinaran terhadap kandungan antosianin *microgreens* kubis merah. Perlakuan warna cahaya LED memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap kandungan antosianin kubis merah. Perlakuan lama penyinaran memberikan pengaruh ($P < 0,05$) terhadap kandungan antosianin kubis merah. Hasil Uji Duncan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan Antosianin Micogreens Kubis Merah

Kombinasi Warna	Lama Penyinaran				Rata-rata
	12 jam	16 jam	20 jam	24 jam	
	----- ppm -----				
100% Putih	7,761 ⁱ	11,837 ^{gh}	12,655 ^{gh}	16,060 ^{de}	12,078 ^d
50%Merah:50%Biru	11,718 ^{gh}	13,078 ^{gh}	16,869 ^d	19,031 ^c	15,174 ^b
70%Merah:30%Biru	11,577 ^h	13,511 ^{fg}	16,640 ^d	20,662 ^b	15,598 ^b
30%Merah:70%Biru	14,794 ^{ef}	15,940 ^{de}	19,069 ^{bc}	24,269 ^a	18,518 ^a
Rata-rata	11,463 ^d	13,592 ^c	16,308 ^b	20,006 ^a	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan superskrip yang berbeda pada kolom atau baris rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut uji Duncan ($p < 0,05$)

Perlakuan warna cahaya LED 100%Putih, 50%Merah;50%Biru, 70%Merah:30%Biru, dan 30%Merah:70%Biru mengalami peningkatan kandungan antosianin seiring kenaikan lama penyinaran. Penyinaran selama 24 jam dengan pemberian warna cahaya LED 30%Merah:70%Biru berbeda nyata dengan perlakuan warna cahaya 100%Putih, 50%Merah;50%Biru, dan 70%Merah:30%Biru. Hal ini menunjukkan bahwa untuk meningkatkan kandungan antosianin *microgreens* kubis merah dibutuhkan penyinaran dengan spektrum cahaya 30%Merah:70%Biru selama 24 jam. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lobiuc *et al.* (2017) menyatakan bahwa kandungan antosianin pada

Rr. Ragil Panca Pangestika, Sutarno, Karno: *Pengaruh Warna Cahaya LED dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin Microgreens Kubis Merah (Brassica oleracea vr. Capitata f. Rubra)..(Hal. 701 - 711)*

microgreens basil yang diberi perlakuan penyinaran dibawah cahaya biru 66.7% lebih tinggi dibandingkan 30% dan serupa dengan Penelitian oleh Ying *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan persentase cahaya biru dalam penyinaran LED biru: merah meningkatkan total antosianin pada *microgreens* arugula, kale, dan kubis ungu. Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh persentase warna biru dalam penyinaran kombinasi cahaya merah dan biru terhadap kandungan antosianin *microgreens* kubis merah. Menurut Xu *et al.* (2014) peningkatan kadar antosianin di bawah penyinaran cahaya biru dengan persentase yang tinggi disebabkan oleh aktivitas enzim biosintesis antosianin yaitu anthocyanidin synthase.

Kandungan antosianin pada *microgreens* kubis ungu meningkat pada perlakuan kombinasi 30%Merah:70%Biru selama 24 jam (Tabel 6). Penelitian ini menunjukkan bahwa lama penyinaran dapat mempengaruhi kandungan antosianin pada tanaman. Hasil serupa juga didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Kang *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa kandungan total antosianin pada tanaman selada 'Hongyeom Jeockchukmyeon' dipengaruhi oleh fotoperiode. Menurut hasil penelitian Lu *et al.* (2015) pada tanaman crab apple memperpanjang fotoperiode akan mendorong akumulasi antosianin dan flavonol. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Zhang *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa fotoperiode yang lebih lama menyebabkan lebih banyak karbohidrat yang digunakan untuk metabolisme dan pertumbuhan fisiologis tanaman.

Mengonsumsi sayuran yang tinggi kandungan antosianin akan memberikan dampak positif pada kesehatan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Peng *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa antosianin memiliki sifat menyehatkan yaitu sebagai antioksidan, antimikroba, anti-inflamasi, dan penghambatan proliferasi sel kanker. Hasil penelitian ini dapat mendasari cara yang efisien untuk membudidayakan sayuran yang kaya akan antosianin. Bagi bidang ekonomi hasil penelitian ini dapat dikembangkan untuk menambah kualitas dari produk hortikultura yang dihasilkan dibawah sistem pencahayaan buatan. Berdasarkan perhitungan analisis keuntungan, perlakuan penyinaran *microgreens* kubis merah dengan lampu led 70% merah : 30% biru selama 24 jam memberikan keuntungan secara ekonomi jika dikembangkan menjadi bisnis.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan terdapat interaksi antara warna cahaya dengan lama penyinaran terhadap kandungan antosianin *microgreens* kubis merah dengan hasil terbaik yaitu perlakuan 30%Merah:70%Biru selama 24 jam/hari. Warna cahaya LED berpengaruh terhadap tinggi tanaman, panjang akar, dan berat segar, sedangkan lama penyinaran berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan panjang akar. Warna cahaya dan lama penyinaran tidak berpengaruh pada parameter kandungan klorofil total dan karotenoid. Kandungan antosianin yang tinggi pada *microgreens* kubis merah jika dikonsumsi dapat bermanfaat bagi kesehatan. Bagi bidang ekonomi hasil penelitian ini dapat dikembangkan untuk menambah kualitas dari produk hortikultura yang dihasilkan dibawah sistem pencahayaan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, I. K., A. Satyana, dan S. M. Sitompul. 2019. Pengaruh lama penyinaran (fotoperiode) terhadap pertumbuhan dan hasil pada tiga varietas kedelai (*Glycine max* L. Merr). *J. Produksi Tanaman*, 7(1) : 68 – 73.
- As'adiya, L., dan I. Murwani. 2021. Pengaruh lama penyinaran lampu led merah, biru, kuning terhadap pertumbuhan microgreen kangkung (*Ipomea reptant*). *J. Folium*, 5(1) : 14 – 25.
- Bantis, F., S. Smirnakou, T. Ouzounis, A. Koukounaras, N. Ntagkas, dan K. Radoglou. 2018. *Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs)*. *Scientia Horticulturae*. 235 : 437–451.
- Baumgardt, C. J., D. Llewellyn, Q. Ying, dan Y. Zheng. 2019. *Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microgreens*. *HortScience*, 54 (7) : 1168 – 1174.
- BPS. 2020. *Statistik Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Brazaityte, A., A. Virsile, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, S. Sakalauskiene, R. Sirtautas, A. Novickovas, L. Dabasinskas, V. Vastakaite, J. Miliauskiene, dan P. Duchovskis. 2016. *Light*

quality: growth and nutritional value of microgreens under indoor and greenhouse conditions. Acta Horticulturae, 1134 : 277 – 284.

- Brazaityte, A., S. Sakalauskiene, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, A. Virsile, A. Novickovas, R. Sirtautas, J. Miliauskiene, V. Vastakaite, L. Dabasinskas, dan P. Duchovskis. 2015. *The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. Food Chemistry, 173 : 600 – 606.*
- Chauhan, E. S., A. Tiwari, dan A. Singh. 2016. *Phytochemical screening of red cabbage (Brassica oleracea) powder and juice - A comparative study. Journal of Medicinal Plants Studies, 4 (5) : 196 – 199.*
- Chen, J., Z. Chen, Z. Li, Y. Zhao, X. Chen, G. Wang-Pruski, dan R. Guo. 2021. *Effect of Photoperiod on Chinese Kale (Brassica alboglabra) Sprouts Under White or Combined Red and Blue Light. Front. Plant Sci. 11 : 1 – 11.*
- Drozdowska, M., T. Leszczynska, A. Koronowicz, E. P. Slupecka, dan K. Dziadek. 2020. *Comparative study of young shoots and the mature red headed cabbage as antioxidant food resources with antiproliferative effect on prostate cancer cells. Royal Society of Chemistry, 10 : 43021 – 43034.*
- Ekawati, R. 2017. Pertumbuhan dan produksi pucuk kolesom pada intensitas cahaya rendah. *J. Kultivasi, 16(3) : 412 – 417.*
- Elkins, C., dan M. W. V. Lersel. 2020. *Longer photoperiods with the same daily light integral improve growth of Rudbeckia seedlings in green house. Hort Science, 55(10) : 1676 – 1682.*
- Fadhullah, H. R., E. Rusmiyanto, dan Z. Zakiah. 2020. Respon morfologi, biomassa, dan kandungan klorofil daun mimosa air (*Netunia oleracea* L.) pada air yang terpapar merkuri klorida ($HgCl_2$). *J. Protobiont, 9(3) : 206 – 213.*
- Ilakiya, T., E. Prameswari, V. Davamani, dan E. Prakash. 2020. *Microgreens-Combating Manutrition Problem. Research Today, 2 (5) : 110 – 112.*
- Kang, J. H., S. K. Sugumaran, S. L. S. Atulba, B. R. Jeong, dan S. J. Hwang. 2013. *Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 54(6) : 501 – 509.*
- Kong, Y., D. Kamath, dan Y. Zheng. 2019. *Blue versus red light can promote elongation growth independent of photoperiod: a study in four Brassica microgreens spesies. HortScience, 54 (11) : 1955 – 1961.*
- Kozai, T., G. Niu, dan M. Takagaki. 2019. *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System For Efficient Quality Food Production. Academic Press, London.*
- Liu, K., M. Gao, H. Jiang, S. Ou, X. Li, R. He, Y. Li, dan H. Liu. 2022. *Light Intensity and Photoperiod Affect Growth and Nutritional Quality of Brassica. Microgreens. Molecules, 27 : 1 – 19.*
- Lobiuc, A., V. Vasilache, O. Pintilie, T. Stoleru, M. Burducea, M. Oroian, dan M. M. Zamfirache. 2017. *Blue and red led illumination improves growth and bioactive compound contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. Molecules, 22 : 1 – 14.*
- Lu, Y., M. Zhang, X. Mengm H. Wab, J. Zhang, J. Tian, S. Hao, K. Jin, dan Y. Yao. 2015. *Photoperiod and shading regulate coloration and anthocyanin accumulation in the leaves of malus crabapples. Plant Cell Tiss Organ Cult, 121 : 619 – 632.*
- Meas, S., K. Luengwilai, dan T. Thongket. 2020. *Enhancing growth and phytochemicals of two amaranth microgreens by LEDs light irradiation. Scientia Horticulture, 265 : 1 – 10.*

- Rr. Ragil Panca Pangestika, Sutarno, Karno:** *Pengaruh Warna Cahaya LED dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin Microgreens Kubis Merah (Brassica oleracea vr. Capitata f. Rubra)..(Hal. 701 - 711)*
- Metallo, R. M., D.A. Kopsell, C. E. Sams, dan N. R. Bumgarner. 2018. *Influence of blue/red vs white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale*. *Scientia Horticulture*, 235 : 189 – 197.
- Naznin, T., M. Lefsrud, V. Gravel, dan Md. O. K. Azad. 2019. *Blue Light added with Red LEDs Enhance Growth Characteristics, Pigments Content, and Antioxidant Capacity in Lettuce, Spinach, Kale, Basil, and Sweet Pepper in a Controlled Environment*. *Most Plant*, 8 : 1 – 12.
- Nurunisa, D., A. B. Sasongko, dan A. Indrianto. 2018. Pengaruh warna cahaya Light-Emitting Diodes (LED) intensitas rendah dan cekaman dingin terhadap pertumbuhan vegetatif anggrek *Phalaenopsis* hibrida. *J. Biota*, 4(1) : 41 – 48.
- Palmer, S., dan M. W. V. Lersel. 2020. *Increasing growth lettuce and mizuna under sole-source LED lighting user longer photoperiods with the same daily light integral*. *Agronomy*, 10(11) : 1 – 12.
- Peng, L., L. Zou, Y. Su, Y. Fan, dan G. Zhao. 2015. *Effects of light on growth, levels of anthocyanin, concentration of metabolism in Fagopyrum tataricum sprout culture*. *International Journal Food Science Tech*, 50 : 1382 – 1389.
- Pennisi, G., S. Blasioli, A. Cellini, L. Maia, A. Crepaldi, I. Braschi, F. Spinelli, S. Nicola, J. A. Fernandez, C. Stanghellini, L.F.M. Marcelis, F. Orsini, dan G. Gianquinto. 2019. *Unraveling the role of red:blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil*. *Front. Plant Sci*, 10 : 1 – 14.
- Primadani, R., dan M. D. Maghfoer. 2018. Pengaruh sinar lampu fluorescent dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan bibit nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) cv.'smooth cayyene'. *J. Produksi Tanaman*, 6 (2) : 298 – 307.
- Sabzalian, M. R., P Heydarzadeh, M. Zahedi, A. Broomand, M. Agharokh, M. R. Sahba, B. Schoefs. 2014. *High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production*. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 : 879 – 886.
- Samuoliene, G., A. Brazaityte, A. Virsile, J. Jankauskiene, S. Sakalauskiene, dan P. Duchovskis. 2016. *Red Light-Dose or Wavelength-Dependent Photoresponse of Antioxidants in Herb Microgreens*. *PLOS ONE*, 11 (9) : 1 – 10.
- Samuoliene, G., A. Virsile, A. Brazaityte, J. Jankauskiene, S. Sakalauskiene, V. Vastakaite, A. Novickovas, A. Viskeliene, A. Sasnauskas, dan P. Duchovskis. 2017. *Blue light dosage affects carotenoid and tocopherol in microgreens*. *Food Chemistry*, 228 : 50 – 56.
- Song, J., H. Huang, S. Song, Y. Zhang, W. Su, dan H. Liu. 2020. *Effects of Photoperiod Interacted with Nutrient Solution Concentration on Nutritional Quality and Antioxidant and Mineral Content in Lettuce*. *Agronomy*, 10 : 1 – 11.
- Sun, J., Z. Xiao, L. Z. Lin, G. E. Lester, Q. Wang, dan J. M. Harnly. 2013. *Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 : 10960 – 10970.
- Vastakaite, V., A. Virsile, A. Brazaityte, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, R. Sitautas, A. Novickovas, L. Dabasinskas, S. Sakalauskiene, J. Miliauskiene, dan P. Duchovskis. 2015. *The Effect of Blue Light Dosage on Growth and Antioxidant Properties of Brassicaceae Microgreens*. *Journal Sodinink Darzinink*, 34 : 25 – 35.
- Wang, J., W. Lu, Y. Tong, dan Q. Yang. 2016. *Leaf morphology, photosynthetic, performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (Lactuca sativa L.) exposed to different ratios of red light to blue light*. *Front Plant Science*, : 1 – 10.
- Wollaeger, H. M., dan E. S. Runkle. 2015. *Growth and acclimation of impatiens, salvia, petunia, and tomato seedlings to blue and red light*. *Hort Science*, 50(4) : 522 – 529.

- Xu, F., S. Cao, L. Shi, W. Chen, X. Su, dan Z. Yang. 2014. *Blue light irradiation affects anthocyanin content and enzyme activities involved in postharvest strawberry fruit*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(20) : 4778 – 4783.
- Ying, Q., Y. Kong, C. J. Baumgardt, dan Y. Zheng. 2020. *Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting*. Scientia Horticulturae, 259 : 1 – 8.
- Ying, Q., C. J. Baumgardt, dan Y. Zheng. 2021. *The proportion of blue light from light emitting diodes alters microgreen phytochemical profiles in a species-specific manner*. Hort Science, 56(1) : 13 – 20.
- Zhang, X., D. He, G. Niu, Z. Yan, dan J. Song. 2018. *Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory*. International Journal Agricultural & Biological Engineering, 11(2) : 33 – 40.