

5. Pengaruh Cahaya Terhadap Kandungan B – Karoten Pada *Microgreens* Mustard dan *Red Pak Choi*

Microgreens merupakan sayuran dengan ukuran yang mungil dengan kandungan nutrisi yang diketahui lebih tinggi daripada sayuran dewasa, serta mengandung antioksidan dan senyawa bioaktif yang sangat baik untuk tubuh manusia. Kandungan nutrisi *microgreens* yang sangat kompleks menjadikan *microgreens* banyak dibudidayakan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari sayuran kecil ini. Menurut (Supapvanich et al., 2020), *microgreens* dan *sprout* memiliki kandungan nutrisi seperti antioksidan, senyawa fenolik, senyawa fitokimia dan juga senyawa anti kanker yang lebih tinggi dibanding kan dengan kandungan senyawa yang sama dan jenis yang sama pada usia yang matang. Nutrisi yang baik bagi tubuh seperti vitamin C, tokoferol, β – karoten, dan mineral banyak didapatkan pada kelompok sayuran seperti *Brassicaceae*, *Amaranth* & *Amarillydaceae*.

Kandungan nutrisi yang baik juga dipengaruhi oleh banyak faktor yang dapat memicu sintesis biokimia pada tanaman. Faktor yang sangat berpengaruh tentunya adalah genetik dari tumbuhan itu sendiri dan juga faktor eksternal atau lingkungan. Kelompok *brassicaceae* merupakan varietas yang banyak dibudidayakan sebagai *microgreens* mengingat masa tanamnya yang tergolong singkat, tingginya kadar fitokimia dan juga berkaitan dengan aroma serta *flavor* yang khas (Jones-baumgardt, Llewellyn, & Ying, 2019). Antioksidan, senyawa biokimia, vitamin dan mineral merupakan nutrisi yang sangat dibutuhkan tubuh. Nutrisi yang kompleks tersebut sangat mudah didapatkan pada tanaman, sehingga untuk mendapatkan optimal maka perlu dimaksimalkan dengan menstimulasi secara eksternal, yang mana berarti dengan memodifikasi faktor lingkungan seperti media tanam, pencahayaan, ketersediaan air, suhu dan pupuk (Kyriacou et al., 2020).

Pengontrolan lingkungan tanam merupakan salah satu metode yang baik untuk menghasilkan tumbuhan atau tanaman dengan kondisi yang diinginkan. Modifikasi tidak hanya pada media tanamnya saja, melainkan juga dapat dilakukan dengan mengatur kecukupan cahaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan senyawa kimia tertentu pada tumbuhan. Cahaya yang merupakan sumber penerangan, membuat kehidupan kita tidak lepas dengan paparan cahaya sehingga memberikan banyak dampak positif maupun negatif. Pada kondisi tertentu intensitas cahaya dapat

memberikan pengaruh yang berbeda – beda, sehingga dalam penggunaannya terutama dalam bidang pangan, intensitasnya perlu diperhatikan. Menurut Xiao et al., (2014), kondisi cahaya (kualitas) atau intensitas cahaya (kuantitas) merupakan salah satu faktor eksternal yang sangat berpengaruh terhadap kondisi mutu dari suatu produk pangan terutama tanaman. Cahaya sangat mempengaruhi kondisi dari tanaman atau produk sayuran, dari awal masa tanam hingga *post-harvest*.

Efek yang sering terjadi akibat paparan cahaya pada masa *post – harvest* adalah munculnya *yellowing* pada sayuran dan juga *browning* pada buah dan juga sayuran (Martínez-sánchez et al., 2011). Menurut Xiao et al., (2014), paparan cahaya selama proses *post-harvest* tidak selalu memberikan efek negatif, melainkan penelitian yang dilakukan pada daun *lettuce* yang terpapar lampu etalase, memberikan nilai asam askorbat yang lebih tinggi, serta meningkatkan kandungan karotenoid seperti xanthofil. Paparan cahaya selama proses pertumbuhan tanaman memberikan dampak positif yang mana dapat meningkatkan kandungan nutrisi pada tumbuhan. Menurut (S. D. Carvalho & Folta, 2016), cahaya merupakan salah satu faktor penting dalam proses fotosintesis sehingga kecukupan cahaya menjadikan suatu hal yang penting dalam tumbuh dan perkembangan dari tumbuhan.

Cahaya juga berperan penting dalam metabolisme tumbuhan, terutama pada terbentuknya senyawa fenolik karotenoid dan juga antosianin. Intensitas cahaya pada alam juga memberikan penting pada terbentuknya karotenoid dalam jumlah yang tinggi (Pantanizopoulos, Sams, & Kopsell, 2012). Cahaya memiliki pengaruh penting terutama dalam metabolisme karotenoid terutama β – karoten dalam tumbuhan. Siklus metabolisme β – karoten pada tanaman secara teoritis sangat dipengaruhi oleh paparan cahaya merah dan biru, hal tersebut dikarenakan respon fotomorfogenesis pada tanaman. Modifikasi intensitas dan panjang gelombang cahaya menjadi sebuah solusi untuk meningkatkan mutu dari suatu produk pangan sehingga nutrisi yang ingin didapatkan dapat terbentuk secara optimal. Pengaruh intensitas cahaya terhadap kandungan β – karoten dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Kandungan β – Karoten *Brassica juncea* L. 'Red Lion' dan *Brassica rapa* var. *Chinensis 'Rubi F1'* "

No	Jenis Tanaman	Perlakuan (%PPFD)	PPFD/Wavelength ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PPFD Total ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Kadar β – Karoten (mg/ 100 g ⁻¹ , FM)	Sumber
1	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	100	BLUE (447 nm) : 41 RED (638 nm) :225 RED (665 nm) :275 FAR-RED (731 nm) : 4	545	1.27	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
2	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	80	BLUE (447 nm) : 34 RED (638 nm) :181 RED (665 nm) :221.5 FAR-RED (731 nm) : 3.5	440	1.72	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
3	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	60	BLUE (447 nm) : 25 RED (638 nm) :136 RED (665 nm) :166 FAR-RED (731 nm) : 3	330	1.59	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
4	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	40	BLUE (447 nm) : 17 RED (638 nm) :90 RED (665 nm) :111 FAR-RED (731 nm) : 2	220	0.80	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
5	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	20	BLUE (447 nm) : 8 RED (638 nm) :45 RED (665 nm) :55 FAR-RED (731 nm) : 1	110	2.31	(Aušra Brazaityte et al., 2014)

Keterangan :

PPFD : *photosynthetic photon flux densities*

PPFD/WAVELENGTH : Intensitas setiap gelombang cahaya

FM : *FRESH MASS* (berat segar)

No	Jenis Tanaman	Perlakuan (%PPFD)	PPFD/Wavelength ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PPFD Total ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Kadar β -Karoten (mg/ 100 g ⁻¹ , FM)	Sumber
6	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	100	BLUE (447 nm) : 41 RED (638 nm) :225 RED (665 nm) :275 FAR-RED (731 nm) : 4	545	2.18	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
7	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	80	BLUE (447 nm) : 34 RED (638 nm) :181 RED (665 nm) :221.5 FAR-RED (731 nm) : 3.5	440	3.34	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
8	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	60	BLUE (447 nm) : 25 RED (638 nm) :136 RED (665 nm) :166 FAR-RED (731 nm) : 3	330	3.10	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
9	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	40	BLUE (447 nm) : 17 RED (638 nm) :90 RED (665 nm) :111 FAR-RED (731 nm) : 2	220	2.58	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
10	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	20	BLUE (447 nm) : 8 RED (638 nm) :45 RED (665 nm) :55 FAR-RED (731 nm) : 1	110	1.85	(Aušra Brazaityte et al., 2014)

Pada data yang ditunjukkan pada Tabel. 2 dapat dilihat pada iluminasi dari kombinasi cahaya dengan intensitas yang beragam memberikan dampak yang berbeda pada setiap tingkatnya. Hal ini disebabkan oleh proses atau mekanisme fotomorfogenesis yang dilakukan oleh tumbuhan. Proses fotomorfogenesis sendiri ialah, mekanisme tumbuhan dalam melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan sekitarnya. Proses fotomorfogenesis lebih berkaitan dengan keberadaan atau suplementasi cahaya, yang kemudian dalam prosesnya, cahaya akan diserap energi (foton) untuk kemudian bisa digunakan dalam berbagai proses metabolisme dalam tanaman. Proses fotomorfogenesis sendiri meliputi, *light signaling mechanism*, *carotenoid biosynthesis pathways*, sintesis klorofil, fotosintesis, dan berbagai metabolisme yang diperlukan tumbuhan (Rizzini et al., 2011). Pada puncaknya keberadaan cahaya seperti intensitas dan panjang gelombang memegang peranan yang cukup penting dalam berbagai sintesis atau metabolisme terutama dalam *supply* energi dan *light signaling mechanism*.

Suplementasi cahaya memberikan dampak pada proses de-etiolasi yang terjadi pada perubahan etioplast menjadi kloroplas untuk menyerap energi selama proses fotomorfogenesis dan metabolisme semua karotenoid pada daun (Arsovski et al., 2012). Pada data yang didapati peningkatan kadar β – karoten tertinggi pada mustard sebesar 2.31 mg / 100 g, FW, iluminasi cahaya dengan intensitas $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sedangkan pada *red pak choi* pada intensitas cahaya $440 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pada data juga dilihat dengan meningkatnya intensitas cahaya maka didapati juga kadar β – karoten yang semakin tinggi pada *red pak choi*, sedangkan pada *red mustard* memiliki kecenderungan dengan arah yang naik dan turun, pada kondisi cahaya dengan intensitas $330 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ didapati kadar β – karoten yang cenderung meningkat dengan kadar mencapai 1.59 mg / 100 g, FW, peningkatan masih terjadi hingga $440 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ dan turun kembali pada intensitas cahaya $545 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$. Pada intensitas cahaya yang terlalu tinggi kandungan β – karoten pada *red pak choi* juga mengalami penurunan hingga mencapai 2.18 mg / 100 g, FW, atau turun sebesar 1.16 mg / 100 g, FW. Pada kelompok *brassica* tertentu seperti *red mustard* memiliki kemampuan adaptasi pada kondisi cahaya yang rendah dan akan mengalami degradasi pada intensitas cahaya yang tinggi. Pada mekanisme serapan cahaya yang dilakukan oleh pigmen dan klorofil serta eksitasi energi yang dilakukan ke dalam *reaction center* sistem fotosintesis merupakan langkah

penting dalam proses fotosintesis, sehingga tanaman memiliki kemampuan untuk beradaptasi secara cepat dengan keadaan cahaya dilingkungan (Ilieva et al., 2010). Pada cahaya yang rendah pigmen dan organ fotosintesis akan bekerja semaksimal mungkin dalam menyerap cahaya untuk digunakan kedalam berbagai proses metabolisme dalam tanaman (Kopsell et al., 2012).

Pada intensitas cahaya yang tinggi metabolisme atau sintesis karotenoid dan senyawa pigmen lain juga terjadi untuk mencegah terjadinya kerusakan yang ditimbulkan dari kelebihan energi yang tidak dapat diserap oleh klorofil. Pada dasarnya produksi kelompok karoten, berfungsi sebagai pigmen *assistant* yang membantu menyerap kelebihan energi yang tidak mampu diserap oleh organ fotosintesis. Kelebihan energi dapat menyebabkan *stress oxidative* yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerusakan pada sel tumbuhan. Kelompok karoten atau senyawa pigment lain seperti, antosianin, karoten, xanthofil memiliki fungsi untuk menyerap kelebihan energi dari cahaya, sehingga tumbuhan tidak mengalami kerusakan sel dan akhirnya mengganggu proses fotosintesis. Menurut Cazzaniga et al., (2012) karotenoid seperti β – karoten, *lutein*, *zeaxanthin* merupakan kelompok karoten yang sangat berfungsi sebagai pigmen yang efisien dalam melindungi sel tanaman terutama organ fotosintesis (Umena et al., 2011). Suplementasi cahaya dengan intensitas $110 \text{ } (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ merupakan intensitas yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dari penyerapan cahaya yang dilakukan oleh organ fotosintesis maupun fotomorfogenesis. Pada intensitas cahaya yang lebih tinggi dari batas toleransi yaitu $400 - 600 \text{ } (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ tumbuhan akan melakukan respon fotoproteksi terhadap radiasi cahaya yang tinggi, pada kondisi intensitas cahaya yang tinggi dengan waktu penyinaran yang singkat dapat memberikan dampak positif.

Respon aktif senyawa pigmen dan organ fotosintesis terhadap *stress* yang disebabkan cahaya meningkatkan kecepatan penyerapan foton, dan sebagai respon fotoproteksi, karotenoid, antosianin, *gluthation* akan diproduksi dalam jumlah yang lebih tinggi untuk membantu menyerap kelebihan energi (Golan, Müller-Moulé, & Niyogi, 2006). Kandungan senyawa antioksidan atau karotenoid dan senyawa lainnya yang berfungsi terhadap respon fotoproteksi dan efisiensi cahaya juga bergantung pada banyak aspek, yang salah satunya adalah besar intensitas cahaya atau energi yang diberikan, panjang gelombang cahaya yang akan memicu *light signaling transduction*,

genetika dari setiap tanaman, pemberian pupuk dan beragam faktor eksternal lain (Zhou et al., 2009). Pada kondisi yang sama dengan modifikasi lingkungan yang sama, perbedaan kandungan β – karoten pada *red pak choi* dan *red mustard* pada kondisi intensitas cahaya 110 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) memiliki perbedaan yang signifikan yang membuktikan bahwa genetika pada tanaman berpengaruh terhadap efisiensi dan produksi dari metabolisme senyawa tertentu (Solfanelli, Poggi, Loreti, Alpi, & Perata, 2006).

Tabel 3. "Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya Terhadap Kandungan Beta Karoten pada Microgreens Red Mustard dan Red Pak Choi"



No	Jenis Tanaman	Perlakuan	PPFD/Wavelength ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PPFD Total ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Kadar β – Karoten (mg/ 100 g ⁻¹ , FM)	Sumber
1	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL	BLUE (447 nm) : 19 RED (638 nm) :118.4 RED (665 nm) :160.4 FAR-RED (731 nm) : 2.2	300	2.8	(A. Brazaityte et al., 2016)
2	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	RED LIGHT (638 nm) ONLY	BLUE (447 nm) : 0 RED (638 nm) : 300 RED (665 nm) : 0 FAR-RED (731 nm) : 0	300	7.3	(A. Brazaityte et al., 2016)
3	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	RED LIGHT (665 nm) ONLY	BLUE (447 nm) : 0 RED (638 nm) : 0 RED (665 nm) : 300 FAR-RED (731 nm) : 0	300	2.7	(A. Brazaityte et al., 2016)
4	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	KONTROL	BLUE (447 nm) : 19 RED (638 nm) :118.4 RED (665 nm) :160.4 FAR-RED (731 nm) : 2.2	300	3.3	(A. Brazaityte et al., 2016)
5	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	RED LIGHT (638 nm) ONLY	BLUE (447 nm) : 0 RED (638 nm) : 300 RED (665 nm) : 0 FAR-RED (731 nm) : 0	300	6.0	(A. Brazaityte et al., 2016)
6	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	RED LIGHT (665 nm) ONLY	BLUE (447 nm) : 0 RED (638 nm) : 0 RED (665 nm) : 300 FAR-RED (731 nm) : 0	300	4.3	(A. Brazaityte et al., 2016)

7	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 104 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4	300	0.38	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
8	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + GREEN LIGHT (520 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 GREEN (520 nm) : 15	300	1.27	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
9	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + YELLOW LIGHT (595 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 YELLOW (595 nm) : 15	300	1.22	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
10	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + ORANGE LIGHT (622 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 ORANGE (622 nm) : 15	300	0.66	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
11	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	KONTROL	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 104 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4	300	0.98	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
12	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	KONTROL + GREEN LIGHT (520 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 GREEN (520 nm) : 15	300	0.89	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
13	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	KONTROL + YELLOW LIGHT (595 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 YELLOW (595 nm) : 15	300	0.78	(Aušra Brazaityte et al., 2014)

14	<i>Brassica rapa</i> var. <i>Chinensis</i> , 'Rubi F1' (Red Pak Choi)	KONTROL + ORANGE LIGHT (622 nm)	BLUE (447 nm) : 42 RED (638 nm) : 89 RED (665 nm) : 150 FAR-RED (731 nm) : 4 ORANGE (622 nm) : 15	300	0.57	(Aušra Brazaityte et al., 2014)
15	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL	BLUE (447 nm) : 0 RED (638 nm) :130 RED (660 nm) :170 FAR-RED (731 nm) : 2.5	300	0.48	(Giedrė Samuolienė et al., 2017)
16	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + 8% BLUE LIGHT (445 nm)	BLUE (447 nm) : 25 RED (638 nm) :105 RED (660 nm) :170 FAR-RED (731 nm) : 2.5	300	0.23	(Giedrė Samuolienė et al., 2017)
17	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + 16% BLUE LIGHT (445 nm)	BLUE (447 nm) : 50 RED (638 nm) :80 RED (660 nm) :170 FAR-RED (731 nm) : 2.5	300	0.21	(Giedrė Samuolienė et al., 2017)
18	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + 25% BLUE LIGHT (445 nm)	BLUE (447 nm) : 75 RED (638 nm) :55 RED (660 nm) :170 FAR-RED (731 nm) : 2.5	300	0.25	(Giedrė Samuolienė et al., 2017)
19	<i>Brassica juncea</i> L. 'Red Lion' (Mustard)	KONTROL + 33% BLUE LIGHT (445 nm)	BLUE (447 nm) : 100 RED (638 nm) :30 RED (660 nm) :170 FAR-RED (731 nm) : 2.5	300	0.42	(Giedrė Samuolienė et al., 2017)

Keterangan :

PPFD : *photosynthetic photon flux densities*

PPFD/WAVELENGTH : Intensitas setiap gelombang cahaya

FM : *FRESH MASS* (berat segar)

Pada Tabel. 3, dapat dilihat iradiasi dengan panjang gelombang tertentu memberikan dampak terhadap kandungan β – karoten pada mustard maupun *red pak choi*. Pada data dari beberapa jurnal yang memberikan perlakuan yang sama ditemukan kandungan β – karoten pada *red* mustard dengan iluminasi hanya cahaya merah dengan panjang gelombang 638 nm memberikan dampak positif peningkatan kadar β – karoten sebesar 7,3 mg / 100 g, FW, sedangkan pada kondisi iluminasi standar atau kontrol (mengacu pada Tabel. 3, baris kedua) didapati kadar β – karoten yang lebih rendah sebesar 0,38 mg / 100 g, FW. Iluminasi standar (komposisi dapat dilihat pada Tabel. 3) dengan penambahan cahaya hijau dengan panjang gelombang 520 nm menghasilkan kadar β – karoten sebesar 1,27 mg / 100 g, FW, sedangkan dengan penambahan iluminasi cahaya oranye (622 nm) sebesar 15 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) kandungan β – karoten yang dihasilkan sebesar 0,57 mg / 100 g, FW. Pada perlakuan berbeda dengan iluminasi standar tanpa cahaya biru memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan cahaya biru dengan nilai sebesar 0,48 mg / 100 g, FW. Pada perlakuan yang sama dengan kandungan cahaya biru (447 nm) sebesar 33 % dari total iluminasi standar atau sebesar 100 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), dihasilkan kandungan β – karoten sebesar 0,03 mg / 100 g, FW. Pada masing – masing data yang didapatkan, dibandingkan satu sama lain, untuk mendapatkan kesimpulan yang tepat dengan membandingkan setiap data dengan perlakuan dari setiap sumber.

Pada kelompok *red pak choi* didapati kandungan β – karoten tertinggi pada iluminasi cahaya merah (638 nm) sebesar 6,0 mg / 100 g, FW, sedangkan pada iluminasi cahaya standar (dapat dilihat pada Tabel. 3, baris ke-lima) didapati kadar β – karoten sebesar 3,3 mg / 100 g, FW. Pada data *red pak choi* dengan pemberian iluminasi cahaya standar (dapat dilihat pada tabel 3 baris ke-12) memberikan nilai yang paling besar sebesar 0,98 mg / 100 g, FW dengan suplementasi cahaya hijau juga memberikan dampak positif dengan kandungan β – karoten sebesar 0,89 mg / 100 g, FW, sedangkan nilai terendah didapati pada pemberian iluminasi cahaya oranye (622 nm) yaitu, sebesar 0,57 mg / 100 g, FW. Pada data yang telah dikumpulkan didapati adanya dampak positif maupun negatif terhadap iluminasi cahaya terutama dengan panjang gelombang tertentu. Pada semua perlakuan dilakukan standarisasi dengan PPF (photosynthetic photon flux density) sebesar 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Iluminasi cahaya dengan PPF 220 – 330 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), memberikan rasangan terhadap kandungan nutrisi yang terdapat pada *microgreens*

terutama kelompok *brassicaceae* dengan memberikan perlakuan yang memicu respon terhadap *stress oxidative*, yang disebabkan oleh lingkungan dengan batas maksimal toleransi intensitas cahaya sebesar $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Samuoliene, 2013).

Biosintesis β – karoten sangat dipengaruhi oleh beragam faktor, internal maupun eksternal. Salah satu faktor yang paling berpengaruh adalah suplementasi cahaya dan juga genetika dari tanaman itu sendiri. Gelombang cahaya pada panjang tertentu memberikan rangsangan berupa energi dengan kemampuan penetrasi ke jaringan tissue yang berbeda (Lester, 2006). Suplementasi hanya cahaya merah (638 nm) dengan total PPFD sebesar $300 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ pada mustard dan *red pak choi* menunjukkan dampak positif dengan meningkatnya kadar β – karoten. Penyerapan cahaya bergantung pada pigmen fotosintesis dan juga pigmen fotomorfogenesis. Pigmen atau organ fotosintesis seperti klorofil dan pigmen fotomorfogenesis seperti (*cryptochrome* dan *phytochrome*) memiliki puncak serapan pada area cahaya biru (430 nm) dan cahaya merah (665 nm) untuk merangsang proses fotosintesis yang kemudian cahaya yang tidak terserap dan terefleksi kembali adalah cahaya hijau (Kevei et al., 2006).

Cahaya memberikan peran penting sebagai inisiator terhadap reseptor fotomorfogenesis, untuk diubah menjadi *light transduction signal*, regulator gen, biosintesis klorofil dan ke dalam berbagai metabolisme yang dibutuhkan sesuai dengan iluminasi cahaya atau panjang gelombang cahaya yang masuk. Salah satu contohnya adalah cahaya merah yang akan diserap oleh fotoreseptor seperti *phytochrome* (PHY), yang kemudian akan mengubah energi cahaya merah menjadi sinyal kimiawi untuk biosintesis klorofil, karoten dan ekspresi gen (Shin et al., 2009). *Phytochrome* (PHY) terbagi menjadi 2 yaitu PHYA dan PHYB yang merespon pada panjang gelombang cahaya dan intensitas cahaya yang berbeda. PHYA akan merespon pada kondisi *very low fluence response* yang dipicu oleh iradiasi dari cahaya putih, *far-red*, dan UV, sedangkan PHYB akan merespon kondisi efek dari fotoreversibel dari cahaya merah (*red*) / merah jauh (*far-red*) ((Cerdán et al., 2000) (Boccalandro et al., 2009)).

Pada data yang telah didapatkan, pada semua perlakuan dengan adanya paparan cahaya merah memberikan nilai yang paling tinggi terhadap kandungan β – karoten pada kedua jenis *microgreens*. Hal tersebut dikarenakan iluminasi cahaya merah akan mengaktifasi *phytochrome*, kemudian energi cahaya yang didapatkan akan diterima oleh *phytochrome red* (638 – 665 nm) berubah menjadi *phytochrome far – red* yang

akan menjadi sinyal ekspresi dari fitoene. Ekspresi dari PSY (*phytoene synthase*) diregulasi untuk merespon apabila terjadi peningkatan terhadap cahaya merah (*red*) dan merah jauh (*far-red*) (Alabadí et al., 2008). Pada proses katalisasi fitoene yang dilakukan PSY, protein faktor yang berinteraksi dengan fitokrom akan melakukan regulasi supaya dalam keadaan gelap atau dalam keadaan cahaya minim sehingga tidak terjadi *overexpression* oleh PSY (*phytoene synthase*). *Phytoene synthase* akan menanggapi respon cahaya ketika mengalami stress, sehingga berpengaruh terhadap *carotenoid biosynthesis pathway* (CBP) (Sun & Ni, 2011).

Depresi yang terjadi pada PSY (*phytoene synthase*), bergantung pada keberadaan PIF (*phytochrome interaction factor*) atau PIF1. PIF1 akan mengalami degradasi ketika fitokrom bersifat aktif ketika mendapat induksi dari cahaya merah (*red*) dan memberikan sinyal untuk meningkatkan produksi karotenoid (Jang et al., 2010). PIF juga berfungsi sebagai protein faktor yang mengurus transkripsi dari gen karotenoid untuk memunculkan respon terhadap keadaan lingkungan, sehingga tanaman dapat tumbuh secara optimal. PIF1 yang teraktivasi oleh cahaya merah (*red*) akan berpindah menuju nukleus dari sitoplasma dan mengikat PHY (*phytochrome*) dan mengalami difosforilasi untuk proses fotoaktif pada tanaman dan kemudian akan terdegradasi, sehingga PSY yang sebelumnya ditekan fungsinya oleh PIF1 akan terlepas dan melanjutkan ekspresinya untuk melakukan sintesis karotenoid (Toledo-Ortiz, Huq, & Rodríguez-Concepción, 2010). Pada data yang didapati peningkatan yang terjadi dengan iluminasi cahaya merah atau kombinasi cahaya merah memiliki *range* yang lebih optimal terhadap kandungan β - karoten, hal ini dikarenakan cahaya merah lebih meningkatkan *stress* pada jaringan tanaman, namun hal ini juga bergantung pada genetika tanaman tersebut, sehingga fungsi penambahan cahaya dan optimasi karoten dan senyawa yang ada juga memiliki keterikatan dengan gen dari tanaman tersebut (Chory, 2010).

Iluminasi cahaya biru juga memberikan dampak terhadap kandungan β – karoten pada mustard dan *red pak choi*. Pada data iluminasi cahaya biru sebesar 33 % dengan total PPFD sebesar $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ memberikan dampak positif mendekati hasil pada kandungan β – karoten dengan perlakuan cahaya biru 0% pada mustard. Cahaya berpengaruh terhadap ketidakstabilan eksistensi elektron pada fotosistem (PS). Ketidakstabilan pada fotosistem akan membentuk senyawa radikal seperti hidrogen

peroksida, dan *reactive oxygen singlet* yang kemudian menimbulkan *stress* dan diubah menjadi sinyal metabolisme untuk produksi pigmen yang dibutuhkan untuk melindungi organ fotosistem seperti karotenoid untuk menjadi *reactive oxygen singlet* (Tuan et al., 2017). Penyerapan energi cahaya biru bergantung pada keberadaan *cryptochrome*, *phototropin* dan juga kelompok karotenoid, serta lama waktu dan juga besar intensitas yang diberikan. Iluminasi cahaya biru dengan intensitas yang besar dan waktu yang lama dapat memberikan dampak negatif yang berdampak pada kerusakan sel pada tanaman dan menghambat proses fotosintesis (Abidi et al., 2013).

Iluminasi cahaya biru dapat memberikan dampak positif dengan intensitas yang tepat, sehingga bisa menjadi stimulan yang memberikan *mild stress* bukan *overstress* pada jaringan sel tanaman. Biosintesis β – karoten bergantung pada kinerja *phototropin* yang efektif menyerap cahaya biru dengan intensitas yang rendah. Pada *lettuce* yang diberi perlakuan cahaya biru selama 31 hari memberikan dampak positif dengan respon produksi beta – karoten yang lebih tinggi daripada iluminasi cahaya merah dengan total PPF 138 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Kong & Nemali, 2021). Hal ini juga berhubungan dengan kerja dari *phototropin*, PHOT 1 (*phototropin 1*) secara efektif menyerap cahaya biru (0.01–1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sedangkan PHOT 2 efektif dalam penyerapan cahaya biru dengan intensitas tinggi (1–10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tanno et al., 2020). Pada tumbuhan tomat yang diberikan iluminasi cahaya biru dengan intensitas yang tinggi (>10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), menyebabkan ekspresi yang berlebihan dari *cryptochrome* sehingga memiliki indikasi positif peningkatan likopen melalui aktivitas enzim PSY (*phytoene synthase*) dan PDS (*phytoene desaturase*) namun menyebabkan terjadinya penurunan transkripsi enzim β – *cyclase*, sehingga dihasilkan kadar β – karoten yang rendah (Giliberto et al., 2005).

Iluminasi cahaya sangat berkaitan penuh dengan intensitas yang diberikan pada tanaman. Pada intensitas yang tinggi 10 – 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dengan waktu yang singkat cahaya biru bekerja secara optimal dalam meningkatkan stress yang terjadi pada tanaman, sehingga mengaktifasi *cryptochrome* bergerak menuju sitoplasma, sehingga meregulasi biosintesis karotenoid pada *lettuce* dengan waktu iluminasi selama 12 jam sehari (Ohashi-Kaneko et al., 2007). Cahaya hijau juga memiliki dampak yang positif terhadap produksi kelompok karotenoid terutama β – karoten pada *red mustard* dan *red pak choi*. Peningkatan kandungan pigmen pada tanaman oleh iluminasi cahaya hijau dikarenakan cahaya hijau memiliki kemampuan untuk masuk kedalam jaringan yang

lebih dalam pada daun, sehingga mengganggu proses penyerapan CO yang mengakibatkan *stress* pada jaringan sel dan menimbulkan terbentuknya *reactive oxygen singlet* (Brodersen & Vogelmann, 2010). Cahaya hijau dapat memberikan dampak terhadap terbentuknya karotenoid dan efisiensi terhadap proses fotosintesis pada *lettuce*. Kombinasi cahaya merah dan biru dengan penambahan suplementasi cahaya hijau 15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pada mustard menunjukkan peningkatan 3,5 kali lipat kandungan β – karoten lebih besar daripada kombinasi cahaya merah dan biru saja.

Pada tanaman absorpsi cahaya hijau dilakukan oleh *phytochrome A* dan juga *cryptochrome*. Iluminasi cahaya hijau mengaktifasi *phytochrome A* untuk bergerak menuju sitoplasma, dan memiliki efek *reversible* pada *cryptochrome*. Pada dosis yang lebih rendah daripada iluminasi cahaya biru, cahaya hijau dapat memberikan dampak positif dengan memberikan kontrol terhadap ekspresi *cryptochrome*, sehingga pertumbuhan menjadi optimal (S. D. Carvalho & Folta, 2016). Iluminasi cahaya hijau dengan PPFD yang rendah dengan waktu yang lama mampu memberikan *mild stress* yang dibutuhkan tumbuhan untuk menjadi sinyal dalam regulasi genetik yang salah satunya adalah metabolisme β – karoten (H. Liu et al., 2016). Pada kasus lain suplementasi cahaya hijau terhadap kandungan β – karoten pada kelompok kolrabi dan juga broccoli, menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan mizuna, walaupun nilai tidak berbeda jauh dibandingkan dengan suplementasi cahaya merah dan biru. Hal tersebut dipengaruhi banyak faktor yang seperti genetik dari tanaman tersebut dan rasio serta dosis dalam suplementasi cahaya tersebut (Giedre Samuolienė et al., 2019).

Pada dasarnya cahaya yang memiliki efektivitas dalam mempengaruhi metabolisme β – karoten pada mustard dan *red pak choy* adalah cahaya merah dan biru, hal ini berhubungan dengan titik puncak serapan dari organ fotomorfogenesis seperti *cryptochrome* dan *phytochrome* yang memiliki *peak* absorpsi pada cahaya biru (440 nm), merah (665 nm) dan merah jauh (731 nm) (Vaštakaitė et al., 2015). Cahaya merah memicu produksi klorofil, inisiasi terhadap biosintesis pigmen fotosintesis (karotenoid, antosianin dan xanthofil), waktu pembungaan, *circadian clock* dan beragam regulasi genetik ((Kubota et al., 2010)(Zhu et al., 2020)). Cahaya biru memegang peranan dalam inisiasi pembukaan stomata, *circadian clock*, akumulasi karotenoid dalam jaringan tissue, perkembangan akar dan beragam fungsi lainnya (Wang et al., 2016).