

# Pengaruh Iradiasi LED Biru Untuk Meningkatkan Kandungan Vitamin C Pada Kubis Selama Penyimpanan

Zaki Al-Amin

Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Indonesia

Email: [zaki21001@mail.unpad.ac.id](mailto:zaki21001@mail.unpad.ac.id)

**Abstrak**-Kebutuhan masyarakat modern akan pangan sehat dan praktis mendorong peningkatan konsumsi sayuran olahan minimal seperti kubis iris. Namun, penyimpanan sayuran segar sering kali menyebabkan penurunan kandungan nutrisi, khususnya vitamin C. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh iradiasi Light Emitting Diode (LED) biru terhadap kadar vitamin C dan kualitas visual kubis iris selama penyimpanan di suhu rendah. Kubis iris disimpan dalam refrigerator dengan dan tanpa iradiasi LED biru selama 20 hari. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan LED biru secara signifikan meningkatkan kadar vitamin C hingga mencapai 110 mg/100g pada hari ke-20, dibandingkan kontrol yang menurun hingga 33,81 mg/100g. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa jenis LED, lama iradiasi, dan interaksinya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar vitamin C ( $p < 0,05$ ). Sementara itu, parameter warna  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$  menunjukkan perubahan visual yang nyata, namun tidak signifikan secara statistik berdasarkan uji Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). Pengamatan visual menunjukkan bahwa masa penyimpanan optimal terjadi pada hari ke-12 hingga ke-16, di mana kubis masih mempertahankan warna hijau segar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa iradiasi LED biru efektif dalam mempertahankan kandungan vitamin C dan memperlambat perubahan visual kubis iris selama penyimpanan, serta berpotensi sebagai teknologi pascapanen yang aplikatif pada produk hortikultura.

**Kata kunci:** Kubis Iris; LED Biru; Vitamin C; Penyimpanan Dingin; Warna Daun; Olahan Minimal.

## 1. PENDAHULUAN

Masyarakat modern saat ini memiliki rutinitas yang serba cepat sehingga mempengaruhi banyak sisi kehidupan. Pola hidup dan aktivitas yang padat membuat masyarakat membutuhkan alternatif dalam hal memenuhi kebutuhan harian mereka. Trend menerapkan pola hidup sehat semakin meningkat dikalangan masyarakat, salah satunya konsumsi sayuran untuk menunjang aktivitas yang padat (Khoerunnisa, 2024). Kementerian Kesehatan Indonesia (Kemenkes) pada tahun 2017 menganjurkan masyarakat Indonesia terutama balita dan anak usia sekolah mengkonsumsi sayuran dan buah-buahan 300-400 gram per orang per hari dan bagi remaja dan orang dewasa sebanyak 400-600 gram per orang per hari, sekitar dua-pertiga dari jumlah anjuran konsumsi tersebut adalah konsumsi sayur. Sayuran mengandung berbagai nutrisi penting seperti vitamin, serat, dan antioksidan. Namun, disisi lain keterbatasan waktu untuk mempersiapkan dan mengolah sayuran memicu meningkatnya permintaan akan produk sayuran yang mudah disajikan, seperti sayuran yang telah diproses secara minimal (Silva et al., 2023; Gomes et al., 2023).

Pengolahan minimal atau minimal *processing* merupakan kegiatan untuk mempertahankan kesegaran, kualitas, dan kandungan gizi pada produk pertanian. Pengolahan buah dan sayuran memiliki proses dasar seperti pencucian, pengupasan, pemotongan, dan pengemasan (Yuliasih et al., 2022). Proses ini dirancang agar produk siap untuk dikonsumsi atau diolah lebih lanjut tanpa kehilangan kualitas nutrisinya. Teknik ini sangat populer karena kemudahan penyajian dan semakin tingginya permintaan masyarakat modern untuk produk pangan yang praktis namun tetap bergizi tinggi (Musaddad et al., 2013). Pengolahan minimal mempermudah proses pengolahan, meningkatkan keamanan dan kualitas, memperluas distribusi, dan mengurangi limbah sampah yang dapat mencemari lingkungan (Asgar, 2017). Sayur kubis, merupakan produk yang sering diolah menggunakan metode pengolahan minimal dan merupakan sayur yang sering dikonsumsi masyarakat. Menurut data yang didapatkan pada tahun 2023, konsumsi kubis pada masyarakat di Indonesia mencapai 1.568 kg per kapita (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2023).

Kubis adalah sayuran yang sering digunakan dalam diet sehat karena memiliki berbagai manfaat kesehatan. Kubis memiliki kemampuan untuk membantu mengatasi beberapa masalah kesehatan, seperti jenis kanker tertentu, sakit kepala, diare, asam urat, serta membantu proses detoksifikasi tubuh (Moreb et al., 2020). Kubis juga kaya akan vitamin C, di mana 100 gram kubis mentah dapat memenuhi sekitar 61% (36,6 mg) dari kebutuhan harian vitamin C yang direkomendasikan (*United States Departement of Agricultural (USDA)*, 2018). Upaya yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas serta memperpanjang umur simpan produk olahan minimal (*fresh-cut*) adalah dengan penyimpanan pada suhu rendah. Prinsip penyimpanan suhu rendah menyatakan bahwa setiap penurunan suhu sebesar 8°C akan mengurangi kecepatan reaksi metabolisme hingga setengahnya (Asgar, 2017).

Menurut penelitian oleh Lee et al. (2014), pemberian iradiasi *Light Emitting Diode* (LED) selama penyimpanan di *refrigerator* dengan menggunakan LED biru dinilai baik dalam meningkatkan kadar vitamin C pada kubis. Pada penelitian Dinanti (2024) telah dilakukan iradiasi LED terhadap kubis iris sebelum dilakukan penyimpanan pada suhu *refrigerator*. Hasil dari penelitian tersebut tidak mendapatkan efek atas pengaruh iradiasi LED terhadap kandungan vitamin C. Meskipun penelitian ini telah dilakukan sebelumnya, akan tetapi belum didapatkan informasi mengenai pengaruh iradiasi LED untuk memaksimalkan kandungan vitamin C pada kubis iris. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari pengaplikasian iradiasi LED untuk memaksimalkan kandungan vitamin C pada kubis iris. Dalam penelitian ini, kubis akan disimpan di dalam *refrigerator* yang ditambahkan iradiasi LED. Durasi waktu iradiasi berbeda-beda untuk mengidentifikasi waktu optimal yang mampu mempertahankan atau meningkatkan kandungan vitamin C selama penyimpanan. Inovasi teknologi penyimpanan seperti iradiasi LED diharapkan dapat

meminimalisir masalah penurunan kualitas nutrisi kubis selama penyimpanan, sehingga kualitas visual dan nutrisi kubis dapat dipertahankan hingga sampai ke tangan konsumen. Lebih lanjut, teknologi ini juga diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah produk sayuran segar di pasaran, terutama di tengah meningkatnya permintaan konsumen akan produk

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan November-Januari 2025, di Laboratorium Sistem Manajemen Mekanisasi Pertanian dan Laboratorium Pascapanen dan Teknologi Proses yang berlokasi di Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

### 2.2 Alat, Bahan, dan Perlakuan

#### 2.2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Persiapan awal penelitian  
Alat yang dibutuhkan pada persiapan awal penelitian ini adalah pisau, tatakan, timbangan digital (1-2000, Superior Mini Digital Platform Scale, China), wadah plastik, sendok, dan salad *spinner bowl*. Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah kubis atau *Brassica oleracea L* yang baru dipanen sebanyak 5 kg yang berasal dari Pasar Jatinangor. Objek penelitian ditransportasikan menggunakan kendaraan tanpa pendingin selama 15-30 menit. Kubis diberi perlindungan *cushion* selama transportasi. Bahan lain yang akan digunakan adalah kemasan plastik mika sebagai wadah kubis atau *unsealed* plastik *pouch* (20- $\mu$ m anti-fogging-oriented polypropylene, Heiko. Inc, Yokohama, Japan) sebanyak 33 buah.
- Penyimpanan dalam refrigerator  
Alat dan bahan yang digunakan untuk proses iradiasi selama 20 hari adalah refrigerator (SJ-X165M-SR/SG, Sharp, Jepang), kotak box dan lampu LED (SMD 5050, Epistar, Taiwan). Box tersebut akan dipasangkan LED disetiap sisi tertentu, box yang sudah dilengkapi dengan lampu LED di dalamnya akan dimasukkan kedalam refrigerator selama proses iradiasi berlangsung. Box tersebut akan berisi kubis yang telah dikemas pada wadah plastik mika, kemudian akan disusun dengan posisi yang sesuai didalamnya.
- Pengujian sifat fisik dan kimia  
Alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian fisik (perubahan warna) dan sifat kimia pada kubis iris (kadar vitamin C).

**Tabel 1.** Alat untuk pengujian sifat fisik, kimia, dan fisiologi

Nama	Kegunaan	Spesifikasi
Spektrofotometer UV-Vis	Pengujian kadar vitamin C	Hitachi U 29000 No. 2J1-0003
Timbangan digital	Menimbang massa sampel	1-2000, Superior Mini Digital Platform Scale, China
<i>Black box</i>	Pengambilan gambar sampel	
<i>Box</i> iradiasi		
<i>Hand</i> blender	Menghaluskan sampel	
Labu ukur	Membuat larutan standar dengan volume tertentu	
Neraca analitik	Pengujian kadar vitamin C	PFB 300-3, Kern, Jerman
Gelas ukur	Menampung larutan	
Erlenmeyer	Pengujian kadar vitamin C	
Batang pengaduk	Menghomogenkan larutan	
Laptop	Membantu pengujian warna pada sampel	14-b058tu, hp, Korea
<i>Software</i> Adobe Photoshop CS 6	Membantu pengujian warna sampel	Adobe, San Jose, USA (versi 13.0)
<i>Smartphone</i>	Mengambil gambar sampel	Y99, Vivo, Guandong, Tiongkok

**Tabel 2.** Bahan untuk pengujian sifat fisik, kimia, dan fisiologi

Nama	Kegunaan	Spesifikasi
Kubis iris	Sampel yang akan diuji	-
Aquades	Pengujian sifat fisik dan kimia	-
Asam Askorbat	Pengujian kadar vitamin C	-
Asam Oksalat	Pengujian kadar vitamin C	-
Ammonium Molibdat	Pengujian kadar vitamin C	-

### 2.2.2 Perlakuan

Perlakuan yang aplikasikan pada penelitian ini adalah penggunaan lampu Biru didalam ruang dingin/refrigerator dan lama penyinaran LED. Detail perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Kombinasi perlakuan warna LED dan lama penyinaran LED

LED	Lama Penyinaran	Ulangan		
		1	2	3
A	-	A1	A2	A3
A	E	AE1	AE2	AE3
A	F	AF1	AF2	AF3
A	G	AG1	AG2	AG3
A	H	AH1	AH2	AH3
A	I	AI1	AI2	AI3
B	E	BE1	BE2	BE3
B	F	BF1	BF2	BF3
B	G	BG1	BG2	BG3
B	H	BH1	BH2	BH3
B	I	BI1	BI2	BI3

Keterangan:

A= tanpa iradiasi LED

B= iradiasi dengan LED berwarna Biru

E= iradiasi selama 4 Hari

F= iradiasi selama 8 Hari

G= iradiasi selama 12 Hari

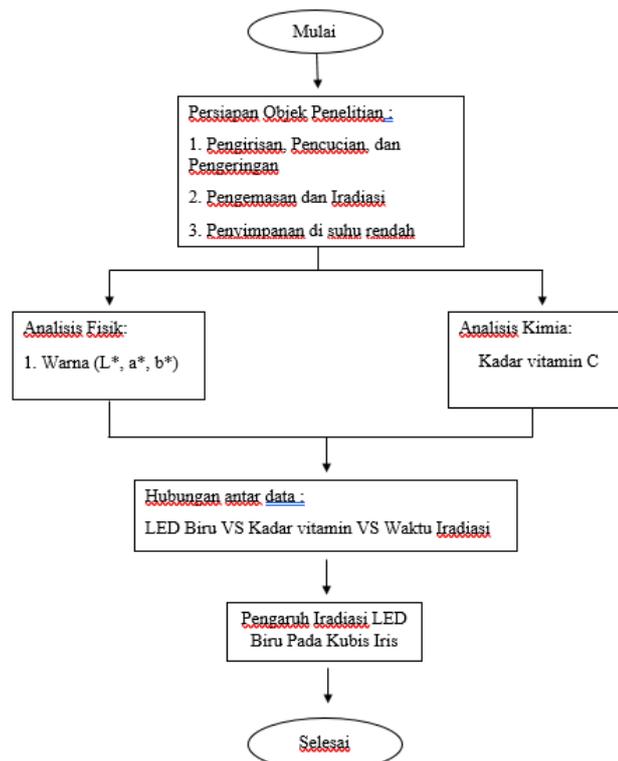
H= iradiasi selama 16 Hari

I= iradiasi selama 20 Hari

Pengamatan setiap parameter (warna dan kadar vitamin C) dilakukan setiap 4 hari sekali selama 20 hari penyimpanan dengan pengujian setiap parameter dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

### 2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini digambarkan di dalam flowchart pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart tahapan penelitian

## 2.4 Prosedur Penelitian

### 2.4.1 Persiapan objek penelitian

Proses persiapan objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Pengirisan, pencucian, dan pengeringan

Pengirisan kubis dilakukan secara manual menggunakan pisau. Kubis dipotong dengan ketebalan 0,1-0,3 cm. Setelah kubis selesai diiris dilakukan pencucian kubis di air yang mengalir tanpa tambahan bahan kimia apapun. Kemudian kubis dikeringkan dengan menggunakan alat salad *spinner bowl*.

b. Iradiasi LED dan pengemasan

Iradiasi LED dilakukan setelah proses pengeringan selesai. Kubis akan dimasukkan ke dalam wadah plastik mika sebelum sampel disimpan di dalam ruang penyimpanan suhu ruang terkendali atau di dalam *refrigerator*. *Refrigerator* yang digunakan sudah dilengkapi dengan lampu LED di dalamnya. Iradiasi LED, dilakukan dengan menggunakan LED berwarna biru dengan lama penyinaran selama 20 hari. Total pengukuran waktu iradiasi adalah mulai dari hari ke 4, 8, 12, 16, dan 20.

c. *Sampling*

Kubis iris yang sudah selesai diberi perlakuan akan dibekukan secara cepat pada hari-hari tertentu (sesuai dengan periode penyimpanan yang dibutuhkan) dengan bantuan cairan pendingin/*Liquid Coolant* dengan takaran tertentu. Sampel sebanyak 33 kemasan akan dimasukkan ke dalam aluminium foil kemudian dimasukkan ke dalam *freezer* dengan suhu -80°C hingga dilakukan pengujian parameter.

### 2.4.2 Pengujian Sifat Fisik Kubis Iris

Parameter pengujian sifat fisik pada penelitian ini adalah warna. Pengukuran warna dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu:

a. Pengambilan gambar sampel

Pada pengambilan gambar sampel perlu disiapkan terlebih dahulu *box* dimana bagian dalamnya sudah dilapisi dengan kain berwarna hitam. Di dalam *box* pengambilan gambar juga akan dipasang dua lampu LED dengan kapasitas 20-30 watt sebagai sumber cahaya. Pengambilan gambar sampel dilakukan dari bagian atas *box* dengan ketinggian kurang lebih 40 cm, dengan menggunakan *smartphone*.

b. Analisis warna

Tahapan setelah pengambilan gambar adalah analisis warna dengan melakukan pemisahan objek yang akan dianalisis dengan objek lain di dalam gambar, kemudian dilakukan pengukuran warna dengan menggunakan fitur *histogram windows* pada *software* Adobe Photoshop untuk mendapatkan nilai  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$ . Tetapi, nilai yang didapat pada *histogram windows* bukan angka standar warna sehingga perlu dilakukan konversi dengan persamaan (1), (2), dan (3).

$$L^* = \frac{Lightness}{255} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$a^* = \frac{240a}{255} - 120 \dots\dots\dots(2)$$

$$b^* = \frac{240b}{255} - 120 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

$L^*$  (*lightness*), Mengukur kecerahan dari suatu warna, di mana  $L = 0$  menunjukkan hitam dan  $L^* = 100$  menunjukkan putih

$a^*$  (*redness/greenish*), Mengukur komponen warna dari hijau ke merah. Nilai negatif menunjukkan warna hijau, sementara nilai positif menunjukkan warna merah

$b^*$  (*blueness/yellowness*), Mengukur komponen warna dari biru ke kuning. Nilai negatif menunjukkan warna biru, sementara nilai positif menunjukkan warna kuning

Sedangkan untuk mengetahui perubahan warna pada sampel dilakukan perbandingan antara warna sampel sebelum dan sesudah diberi perlakuan. Perhitungan untuk mengetahui total perubahan warna yaitu dengan menggunakan persamaan (4).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

$\Delta E$  = Perubahan nilai  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  selama waktu tertentu

$\Delta L^*$  = Perubahan nilai *lightness* selama waktu tertentu

$\Delta a^*$  = Perubahan nilai  $a^*$  selama waktu tertentu

$\Delta b^*$  = Perubahan nilai  $b^*$  selama waktu tertentu

### 2.4.3 Pengujian Sifat Kimia Kubis Iris (Kadar Vitamin C)

Pengujian vitamin C dilakukan menggunakan prosedur pengujian kadar Vitamin C dengan Spektrofotometer UV-Vis (Sudjarwo, 2017) dengan modifikasi oleh (Dinanti, 2024). Pengujian kadar vitamin C pada sayur kubis dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis. Larutan stok dibuat dengan melarutkan 25 mg asam askorbat dalam asam oksalat 0,4% hingga 250 mL (100 ppm). Panjang gelombang maksimum ditentukan pada 681 nm menggunakan larutan vitamin C (20 ppm)

dengan tambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% dan ammonium molibdat 5%, diinkubasi selama 30 menit. Kurva baku dibuat dengan konsentrasi 4, 8, 12, 16, dan 20 ppm.

Untuk pengujian kubis, 1 gram sampel dihaluskan dan dilarutkan, kemudian diukur serapannya setelah inkubasi menggunakan metode yang sama. Persamaan regresi yang diperoleh untuk menentukan kadar vitamin C dalam sampel yaitu dengan memasukkan nilai absorbansi sampel pada persamaan regresi kemudian dihitung menggunakan rumus (5).

$$Kadar\ vitamin\ C\ \left(\frac{mg}{100g}\right) = \frac{C.V.Fp}{W} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

C = Konsentrasi larutan sampel setelah pengenceran

V = Volume sampel (ml)

Fp = Faktor pengenceran

W = Berat sampel (g)

**2.4.4 Analisis Statistik**

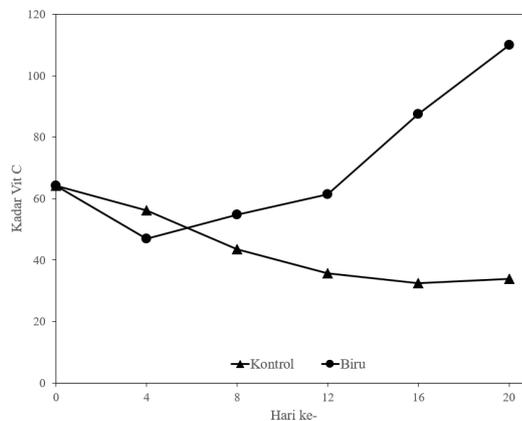
Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan iradiasi LED terhadap kualitas kubis iris, dengan menggunakan software SPSS (SPSS Inc., Chicago, USA). Perbandingan rata-rata setiap perlakuan akan diuji menggunakan Analysis of Variance (One-Way ANOVA) dan Analisis Uji Non Parametrik Kruskal Willis, selanjutnya dilakukan pengujian tukey dan Mann Whitney dengan level signifikansi 5% (p<0,05). Variabel yang akan dianalisis meliputi parameter warna dan kadar vitamin C pada kubis iris yang telah diberi perlakuan iradiasi LED biru, dengan variasi lama iradiasi selama penyimpanan ( 0, 4, 8, 12, 16, 20 hari).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Hasil Penelitian**

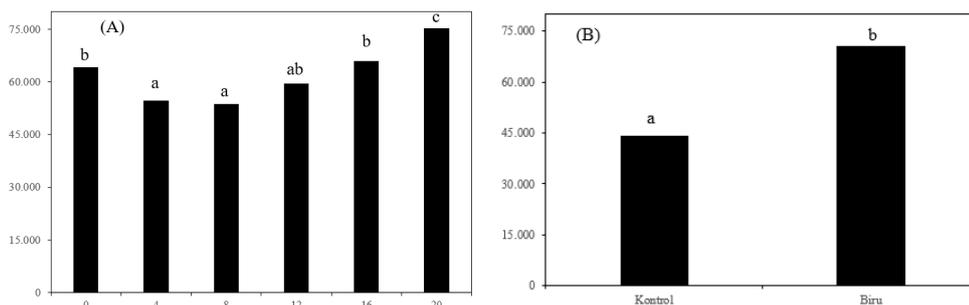
**3.1.1 Kadar Vitamin C**

Pengukuran kadar vitamin C pada kubis iris dilakukan selama 20 hari penyimpanan di dalam suhu kulkas 5°C. Rentang pengambilan data yaitu 4 hari sekali dimulai dari penyimpanan hari ke-0, ke-4, ke-8, ke-12, ke-16, dan ke-20 dengan tiga kali uji pengulangan. Data vitamin C yang diperoleh disajikan pada gambar 2.



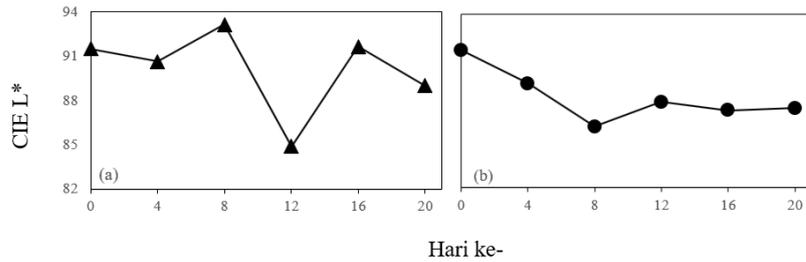
**Gambar 2.** Perubahan kadar vitamin C pada kubis iris selama penyimpanan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh iradiasi LED dengan tiga perlakuan warna berbeda yaitu (kontrol dan biru) terhadap kandungan vitamin C didalam kubis iris selama masa penyimpanan 20 hari.



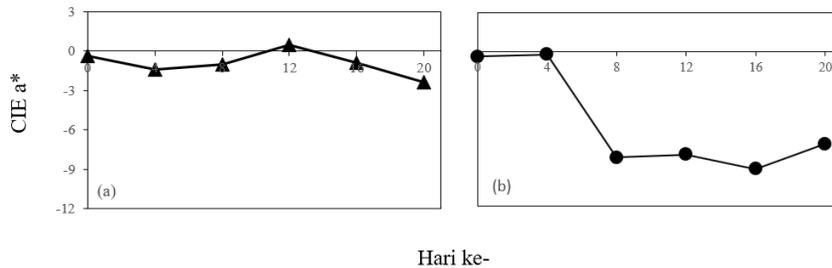
**Gambar 3.** Grafik analisis beda nyata Perubahan kadar vitamin C pada kubis iris selama penyimpanan: (A) pengaruh hari terhadap vitamin C, (B) pengaruh LED terhadap vitamin C

### 3.1.2 Warna Kubis Iris



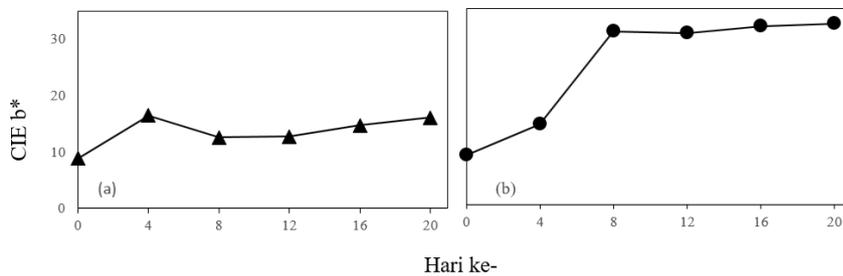
**Gambar 4.** Perubahan warna L\* pada kubis iris selama penyimpanan: (a) tanpa iradiasi/kontrol, (b) iradiasi LED biru.

Parameter L\* menunjukkan tingkat kecerahan warna, dengan rentang nilai dari 0 (hitam) hingga 100 (putih). Dalam sayuran hijau, penurunan nilai L\* dapat menunjukkan pelayuan atau penggelapan warna karena degradasi.



**Gambar 5.** Perubahan warna a\* pada kubis iris selama penyimpanan: (a) tanpa iradiasi/kontrol, (b) iradiasi LED biru.

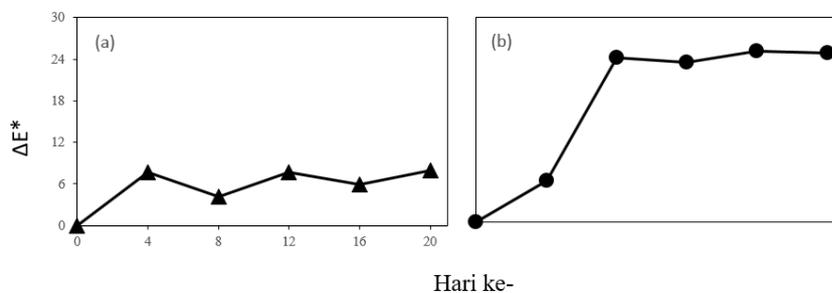
Nilai a\* menunjukkan spektrum hijau-merah, nilai a\* yang negatif menunjukkan warna menuju hijau, sementara nilai a\* yang positif menunjukkan arah menuju warna merah. Pada sayuran hijau seperti kubis, nilai a\* seharusnya cenderung negatif.



**Gambar 6.** Perubahan warna b\* pada kubis iris selama penyimpanan: (a) tanpa iradiasi/kontrol, (b) iradiasi LED biru.

Nilai CIE b\* positif diketahui menunjukkan warna kekuningan, dan nilai b\* negatif menunjukkan warna kebiruan. Perubahan b\* bisa disebabkan oleh degradasi atau peningkatan pigmen lain seperti karotenoid.

### 3.1.3 Perubahan Warna ( $\Delta E^*$ ) Kubis Iris



**Gambar 7.** Perubahan warna  $\Delta E^*$  pada kubis iris selama penyimpanan: (a) tanpa iradiasi/kontrol, (b) iradiasi LED biru.

Nilai  $\Delta E$  (Delta E) pada kubis iris selama penyimpanan 20 hari dengan perlakuan (LED biru dan kontrol/tanpa iradiasi) berdasarkan hasil yang didapat: Iradiasi LED biru (b) nilai  $\Delta E$  meningkat tajam dari hari ke-0 hingga hari ke-8 yang menunjukkan perubahan warna cukup besar dan cepat pada awal penyimpanan. Setelah hari ke-8 hingga hari ke-20, nilai  $\Delta E$  LED biru tetap tinggi yang menunjukkan perubahan warna relatif stabil setelahnya. Kontrol/tanpa iradiasi (a) nilai  $\Delta E$  naik dan turun secara fluktuatif, naik pada hari ke-4, turun di hari ke-8, naik lagi di hari ke-12, dan seterusnya. Nilai  $\Delta E$  berkisar antara 4 hingga 8, jauh lebih rendah dibanding LED biru

### 3.1.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan software SPSS (SPSS Inc., Chicago, USA). Perbandingan rata-rata setiap perlakuan dilakukan dengan menggunakan 2 analisis yaitu Analysis of Variance (ANOVA) dan Analisis Uji Non Parametrik Kruskal Willis dengan level signifikansi 5% ( $P < 0,05$ ). Hasil uji ANOVA disajikan pada table 4.

**Tabel 4.** Hasil uji ANOVA iradiasi LED, dan lama penyinaran LED terhadap vitamin C

Variabel <i>Dependen</i>	Signifikansi		
	Variabel <i>Independen</i>		
	LED	Lama Iradiasi	LED X Lama Iradiasi
Kadar Vitamin C	<0,001	0,003	0,001

**Tabel 5.** Hasil uji Non Parametrik iradiasi LED, dan lama penyinaran LED warna

Kruskal-Wallis H	Signifikansi
	Warna
LED	0,837
Hari	0,142

Nilai signifikansi dibawah 0,05 menunjukkan terdapat pengaruh signifikan antara variabel independen dengan variabel dependen.

### 3.2 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi yang berbeda, yaitu LED biru dan tanpa LED (kontrol), memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar vitamin C dan warna pada kubis iris selama penyimpanan. Setiap perlakuan menghasilkan respons yang berbeda, baik pada kadar vitamin C dan nilai L\* (kecerahan), a\* (tingkat kehijauan atau kemerahan), maupun b\* (tingkat kebiruan atau kekuningan). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas nutrisi dan visual kubis iris dapat dipengaruhi oleh jenis spektrum cahaya yang diberikan selama masa penyimpanan. Pembahasan berikut akan menjelaskan lebih lanjut penyebab terjadinya perbedaan hasil dari setiap perlakuan.

Kadar vitamin C pada kubis iris yang diberikan iradiasi LED menunjukkan kandungan vitamin C yang lebih tinggi dibandingkan sampel kontrol, diketahui pada hari ke-0, seluruh sampel kubis iris memiliki kandungan vitamin C yang sama yaitu sebesar 64,148 mg/100g sesuai dengan data USDA (2021), kandungan vitamin C dalam kubis mencapai sekitar 57–64 mg per 100 gram bahan segar. Selama proses iradiasi LED berlangsung, terlihat penurunan dan peningkatan kandungan vitamin C pada masing-masing perlakuan. Kontrol (tanpa iradiasi) mengalami penurunan signifikan dari 64,148 menjadi 33,81 mg/100g pada hari ke-20, grafik dari gambar 3.1 menunjukkan tren menurun yang bertahap selama penyimpanan serta menunjukkan terdapat degradasi dan proses oksidasi selama penyimpanan, terdapat kenaikan kecil pada kontrol di hari ke-20 kemungkinan disebabkan oleh variasi biologis atau kesalahan teknis ringan, tetapi tetap jauh lebih rendah dari kubis yang diiradiasi. Iradiasi LED biru terlihat dapat mempertahankan kadar vitamin C lebih baik dibanding kontrol, Iradiasi LED biru mengalami peningkatan yang signifikan setelah hari ke-8, dengan kadar akhir mencapai 110 mg/100g pada hari ke-20.

LED biru pada tanaman pascapanen diketahui dapat meningkatkan aktivitas enzim yang berperan dalam pembentukan vitamin C (seperti L-galactono-1,4-lactone dehydrogenase) Zha et al. (2019). Pada perlakuan LED biru, kandungan vitamin C sempat menurun pada hari ke-4 sebelum meningkat signifikan hingga akhir masa simpan. Penurunan diduga terjadi karena adanya fase adaptasi kubis terhadap iradiasi cahaya. Secara umum, perlakuan LED pada warna biru terbukti mampu memperlambat degradasi atau bahkan meningkatkan kadar vitamin C selama masa penyimpanan. Hasil berikut sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana kadar vitamin C tertinggi adalah pada kubis yang diiradiasi oleh LED biru, sehingga disebutkan bahwa LED biru efektif dalam meningkatkan kadar vitamin C pada kubis. (Yee Jin Lee et al., 2014).

Berdasarkan hasil analisis ANOVA tabel 3.1, kandungan kadar vitamin C pada kubis iris yang diiradiasi LED biru dan kontrol menunjukkan signifikansi statistik dengan nilai  $p < 0,05$ . Variabel jenis LED, lama iradiasi, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan terhadap kadar vitamin C kubis iris selama penyimpanan dengan nilai  $p$  masing-masing <0,001, 0,003, dan 0,001. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan jenis cahaya LED yang digunakan (biru dan kontrol) memiliki dampak nyata terhadap perubahan kandungan vitamin C. Selain itu, lama iradiasi juga memengaruhi kadar vitamin C secara signifikan, dimana waktu iradiasi yang lebih lama dapat meningkatkan atau mempertahankan vitamin C dengan lebih optimal. Interaksi antara jenis LED dan lama iradiasi yang signifikan menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi tidak dapat dipisahkan dari lama waktu penyinaran, sehingga kombinasi keduanya berperan penting dalam mempengaruhi kandungan vitamin C. Berdasarkan hasil uji Tukey untuk analisis kandungan Vitamin C diperoleh nilai signifikansi <0,001 antara Kontrol dengan LED Biru. Nilai signifikansi kurang dari 0,001 menunjukkan bahwa perbedaan kandungan vitamin C antara kontrol dan perlakuan iradiasi LED biru sangat signifikan secara statistik untuk mempengaruhi kandungan vitamin C dibandingkan dengan tanpa LED (kontrol).

Parameter warna  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$  mengalami perubahan yang berbeda-beda pada masing-masing perlakuan cahaya. Nilai  $L^*$  menunjukkan tingkat kecerahan warna, dengan rentang nilai dari 0 (hitam) hingga 100 (putih). Dalam sayuran hijau, penurunan nilai  $L^*$  dapat menunjukkan pelayuan atau penggelapan warna karena degradasi. Pada ketiga perlakuan selama penyimpanan menunjukkan penurunan kecerahan. Pada kontrol, nilai  $L^*$  nilainya fluktuatif tetapi relatif stabil dari 91,5 menjadi 89 LED biru dari 91,5 menjadi 87,5. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa iradiasi LED, terutama biru, menyebabkan sedikit penurunan kecerahan daun, tetapi dalam rentang yang masih tinggi dan tidak drastis. Nilai  $a^*$ , menunjukkan warna hijau & merah, perlakuan iradiasi LED menunjukkan kecenderungan nilai yang semakin negatif pada kubis iris. Iradiasi LED biru menunjukkan penurunan nilai  $a^*$  secara signifikan dari -0,38 menjadi -7,17, sedangkan nilai kontrol justru mengalami fluktuasi kecil dan tetap mendekati nol, menandakan tidak adanya penguatan warna hijau secara signifikan tanpa perlakuan cahaya.

Nilai  $b^*$ , positif diketahui menunjukkan warna kekuningan, dan nilai  $b^*$  negatif menunjukkan warna kebiruan. Perubahan  $b^*$  bisa disebabkan oleh degradasi atau peningkatan pigmen lain seperti karotenoid. Hasil dari 2 perlakuan menunjukkan tren peningkatan selama penyimpanan. LED biru meningkat dari 8,88 menjadi 32,33 dan kontrol dari 8,88 menjadi 16,13. Peningkatan nilai  $b^*$  menunjukkan pemberian iradiasi cahaya, terutama LED biru, dapat meningkatkan warna kekuningan pada daun, dan mungkin berhubungan dengan senyawa pigmen atau proses degradasi yang memperlihatkan rona kuning lebih jelas. Jika dilihat dari nilai  $\Delta E$  (total perubahan warna), LED biru menghasilkan perubahan signifikan dari 0 menjadi 24,75, sedangkan kontrol dari 0 hanya mencapai 7,93. Hasil ini menunjukkan bahwa iradiasi LED biru menyebabkan perubahan warna yang lebih jelas dan signifikan serta terdeteksi secara visual dibandingkan dengan kontrol. Perubahan warna belum tentu merupakan penurunan mutu, kemungkinan bisa juga menunjukkan proses perubahan pigmen atau respons fisiologis terhadap cahaya. Kesimpulannya, cahaya LED biru, memiliki pengaruh yang kuat terhadap parameter warna daun kubis iris selama penyimpanan.

Berdasarkan hasil uji statistik Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa variabel LED memiliki nilai ( $p = 0,837$ ) dan variabel lama penyimpanan memiliki nilai ( $p = 0,142$ ), dari hasil tersebut apabila dibandingkan dengan minimal nilai signifikansi ( $p < 0,05$ ) maka tidak ada perubahan warna yang signifikan secara statistik dikarenakan ( $p > 0,05$ ). Hasil ini menunjukkan meskipun perbedaan warna terlihat nyata secara deskriptif/analisis data warna ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , dan  $\Delta E$ ), tetapi secara statistik perbedaan tersebut belum cukup kuat untuk disimpulkan sebagai efek yang signifikan. Ketidaksesuaian ini dapat disebabkan oleh ukuran sampel yang kecil atau variasi data yang tinggi, sehingga uji non-parametrik seperti Kruskal-Wallis menjadi kurang sensitif dalam mendeteksi perbedaan. Dikarenakan hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan tidak signifikan, maka tidak dilakukan uji lanjutan Mann-Whitney U untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan secara berpasangan. Dapat disimpulkan, meskipun data menunjukkan adanya perubahan warna akibat perlakuan LED dan waktu penyimpanan, tetapi perubahan tersebut belum dapat dinyatakan signifikan secara statistik.

Berdasarkan hasil pengamatan langsung terhadap perubahan warna visual kubis selama masa penyimpanan, terlihat bahwa masa penyimpanan antara hari ke-12 hingga hari ke-16 menunjukkan kondisi warna kubis yang baik. Pada rentang waktu ini, daun kubis terlihat berwarna hijau, belum /sedikit tanda warna kuning atau coklat yang menandakan penurunan mutu. Warna visual penting dalam menilai kesegaran dan kualitas kubis. Pada hari ke-0 hingga ke-8, daun kubis masih tampak segar dan putih, tetapi perbedaan antara masing-masing LED belum terlihat signifikan. Mulai dari hari ke-12, perbedaan warna antar kubis mulai terlihat dan lama penyinaran terbukti mampu mempertahankan warna hijau. Setelah hari ke-16, warna daun mulai menurun ditandai dengan munculnya warna kuning atau kecoklatan akibat degradasi. Oleh karena itu, hari ke-12 hingga ke-16 dapat dianggap sebagai periode penyimpanan yang paling ideal dari segi penampilan visual kubis yang telah diberi perlakuan penyinaran LED.

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa iradiasi LED, khususnya LED biru, memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan dan stabilisasi kadar vitamin C pada kubis iris selama penyimpanan, dibandingkan dengan kontrol tanpa iradiasi. Kandungan vitamin C pada kubis yang diberi LED biru meningkat secara signifikan hingga akhir masa simpan, sementara kontrol mengalami penurunan tajam. Selain itu, LED biru juga memengaruhi parameter warna  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$  pada kubis iris, meskipun perubahan ini tidak signifikan secara statistik berdasarkan uji Kruskal-Wallis. Secara visual, perubahan warna akibat perlakuan LED terlihat jelas, terutama mulai hari ke-12 hingga hari ke-16 penyimpanan, yang dianggap sebagai periode terbaik dalam mempertahankan kualitas penampilan kubis. Dengan demikian, penggunaan LED biru terbukti efektif dalam mempertahankan kandungan vitamin C dan memperlambat perubahan visual pada kubis iris selama penyimpanan, menjadikannya potensi teknologi pascapanen yang menjanjikan. Disarankan untuk memanfaatkan iradiasi LED biru dalam proses penyimpanan produk hortikultura seperti kubis iris, karena terbukti mampu mempertahankan kadar vitamin C dan memperlambat degradasi warna daun. Penerapan LED biru dapat menjadi strategi praktis dalam menjaga mutu gizi dan penampilan visual produk selama masa distribusi dan pemasaran. Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan bahwa masa penyimpanan paling optimal bagi kubis iris yang diiradiasi LED biru berada pada rentang hari ke-12 hingga ke-16, di mana daun masih mempertahankan warna hijau segar tanpa tanda penurunan mutu visual. Oleh karena itu, distribusi dan konsumsi kubis sebaiknya dilakukan dalam periode tersebut untuk menjamin kualitas terbaik. Namun, untuk memperkuat temuan ini, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar serta pendekatan statistik yang lebih sensitif, agar perbedaan-perbedaan yang tampak secara visual maupun deskriptif dapat dikonfirmasi secara signifikan secara statistik.

## REFERENCES

- Alif, A. A., Gusmiaty, Akzad, M. B., Rahim, I., & Larekeng, S. H. (2023). Efektifitas Pelarut Aseton dan Etanol pada Prosedur Kerja Ekstraksi Total Klorofil Daun Jabon Merah. *Jurnal Galung Tropika*, 12(1), 109-118.
- Aghajanian P, Hall S, Wongworawat M, Mohan S. (2015). The roles and mechanisms of actions of vitamin C in bone: New developments; *Journal of Bone and Mineral Research*, 30(11), 1945-55.
- Agung, I. (2022). MODUL: Pengantar Statistik Parametrik dan Nonparametrik.
- Asgar, A. (2017). Pengaruh Suhu Penyimpanan dan Jumlah Perforasi Kemasan terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Brokoli (*Brassica Oleracea* Var. Royal G) Fresh-Cut. *J. Hort.*, 27(1), 127-136.
- Bantis, F., Ouzounis, T., & Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Sci Horti*, 198, 277–283.
- Charles, F., Nilprapruck, P., Roux, D., & Sallanon, H. (2018). Visible light as a novel tool to preserve the quality of fresh-cut lettuce during postharvest. *Postharvest Biology and Technology*, 135, 51–56.
- Daly, R., et al. (2020). *Adaptations of Cabbage Varieties to Temperate Climates*. *Journal of Agricultural Science*, 15(3), 120-135.
- Dinanti, A. A. (2024). Pengembangan Model Prediksi Kualitas Kubis Iris Berdasarkan Iradiasi LED dan Lama Penyimpanan. Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor.
- DiNardo, A., Subramanian, J., & Singh, A. (2018). Investigation of antioxidant content and capacity in European yellow plums. *International Journal of Fruit Science*, 18(1), 99–116.
- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2021). Effect of Alternative Preservation Steps and Storage on Vitamin C Stability in Fruit and Vegetable Products: Critical Review and Kinetic Modelling Approaches. *Foods*, 10, 1-30.
- Gomes, B. A. F., Alexandre, A. C. S., de Andrade, G. A. V., Zanzini, A. P., et al. (2023). Recent Advances in Processing and Preservation of Minimally Processed Fruits and Vegetables: A Review – Part 2: Physical Methods and Global Market Outlook. *Food Chemistry Advances*, 2, 100304.
- Hasperue, J. H., Guardianelli, L., Rodoni, L. M., Chaves, A. R., & Martinez, G. A. (2016). Continuous white-blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. *LWT Food Sci Technol*, 65, 495–502.
- Ismail, Fajri. (2018). *Statistika Untuk Penelitian Pendidikan dan Ilmu-Ilmu Sosial*. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Khoerunnisa, S. (2024). *Pengembangan Model Prediksi Umur Simpan Selada Romaine Potong (Lactuca sativa var. Longifolia) dengan Pencucian Finebubbles dan Iradiasi LED Biru*. Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2017). *Tingkatkan Konsumsi Sayur dan Buah Nusantara Menuju Masyarakat Hidup Sehat*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Kim, B. S., Lee, H. O., Kim, J. Y., Kwon, K. H., Cha, H. S., & Kim, H. H. (2011). An effect of light emitting diode (LED) irradiation treatment on the amplification of functional components of immature strawberry. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52(1), 35e39.
- Lane D, Richardson D. (2014). The active role of vitamin C in mammalian iron metabolism: Much more than just enhanced iron absorption; *Free Radical Biology and Medicine*, 75, 69-83
- Lee, Y.J., Ha, J.Y., Oh, J.E., & Cho, M.S., (2014). The Effect of LED Irradiation on The Quality of Cabbage Stored at a Low Temperature. *Food Sci. Biotechnol.* 23, 1087–1093.
- Mathew, U., & Sharma, P. (2023). Recent Developments in Ready-to-Eat and Ready-to-Cook Foods: An Overview. *International Journal of Agriculture and Food Science*, 5(1), 147-152.
- Nabzdyc C, Bittner E. (2018). Vitamin C in the critically ill - indications and controversies; *World Journal of Critical Care Medicine*, 16, 7(5), 52-61.
- Nurjasmii, R., & Wahyuningrum, M. A. (2022). *Pengaruh Media Tanam Organik terhadap Kandungan Klorofil dan Karoten Microgreens Brokoli (Brassica Oleracea L.)*. *Jurnal Ilmiah Respati*, 13(1), 43-52.
- Pacier C, Martirosyan M, Martirosyan D. (2015). Vitamin C: optimal dosages, supplementation and use in disease prevention; *Functional Foods in Health and Disease*, 5(3), 89-107.
- Poonia, A., Pandey, S., & Vasundhara. (2022). Application of Light Emitting Diodes (LEDs) for Food Preservation, Post-Harvest Losses and Production Of Bioactive Compounds: a Review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(8), 1-10.
- Pullar J, Carr A, Vissers M. (2017). The roles of vitamin C in skin health; *Nutrients*, 9, 866.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. (2023). *Statistik Konsumsi Pangan 2023*. Kementerian Pertanian.
- Rosmainar, L., Ningsih, W., Ayu, N. P., & Nanda, H. (2018). Penentuan kadar vitamin C beberapa jenis cabai (*Capsicum* sp.) dengan spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 1-5.
- Rozana, S. (2021). Minimally Process pada Buah Rambutan dan Perubahan Kandungan Vitamin C Selama Penyimpanan Beku. *Food Technology And Agroindustry*, 3(1), 36-44.
- Saidi, I.A., Azara, R., Yanti, E., (2021). *Buku Ajar Pasca Panen dan Pengolahan Sayuran Daun*. Diterbitkan oleh Jl . Mojopahit 666 B Sidoarjo ISBN : 978-623-6292-21-1 Copyright © 2021 . Authors All rights reserved.
- Sapers, GM, Miller, RE, Miller, FC, Cooke, PH & Choi, CW 1991, 'Enzymatic browning control in minimally processed mushroom', *J. Food Sci.*, vol. 59, no. 5, pp. 1042-7.
- Silva, G. A., Bernardino, M. C., Pinto, U. M., & Maffei, D. F. (2023). Minimally Processed Vegetables in Brazil: An Overview of Marketing, Processing, and Microbiological Aspects. *Foods*, 12(11), 2259.
- Sola, I., Stić, P., & Rusak, G. (2021). Effect of flooding and drought on the content of phenolics, sugars, photosynthetic pigments and vitamin C, and antioxidant potential of young Chinese cabbage. *European Food Research and Technology*, 247(7), 1913-1920.
- Sumiati, A. (2021). *Pengaruh Media Tanam Organik terhadap Kandungan Klorofil pada Microgreens Brokoli (Brassica Oleracea L.)*. USDA Research Service. (2018). National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Basic Report: 11109, Cabbage, raw. Terdapat pada: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11109>. (Diakses pada 21 September 2024)
- Yuliasih, I., Sugiarto, & Mawaddah, H. A. (2022). Minimally Process pada Daun Kale (*Brassica oleracea* var. acephala). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(3), 264-272.