

**Peran Spektrum dan Intensitas Cahaya Buatan terhadap Kualitas Buah Pepaya (*Carica papaya* L.)  
Selama Penyimpanan**

***The Role of Spectrum and Intensity of Artificial Light on the Quality of Papaya Fruit (*Carica papaya* L.)  
During Storage***

**Putri Anggraini<sup>1</sup>, Dhika Prita Hapsari<sup>2\*</sup>, Ketty Suketi<sup>2</sup>, dan Roedhy Poerwanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Agronomi dan Hortikultura Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian,  
Institut Pertanian Bogor (IPB *University*)

<sup>2</sup>Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB *University*),  
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [dhikaprita21@apps.ipb.ac.id](mailto:dhikaprita21@apps.ipb.ac.id)

Disetujui: 10 Februari 2026 / *Published Online* Mei 2026

**ABSTRAK**

Pepaya (*Carica papaya* L.) adalah buah klimakterik yang mengalami peningkatan pematangan selama penyimpanan, membutuhkan penanganan pascapanen tepat untuk menjaga mutu buah. *Light Emitting Diode* (LED) mengubah energi listrik menjadi cahaya, berpotensi meningkatkan umur simpan produk hortikultura. Penelitian ini mengevaluasi efek spektrum dan intensitas LED yang berbeda pada penyimpanan melalui penyusutan, produksi etilen, laju respirasi, degradasi warna, kelunakan, padatan terlarut total (PTT) dan asam tertitrasi total (ATT), dan vitamin C. Penelitian menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLT) satu faktor yaitu pencahayaan dengan tujuh perlakuan kombinasi spektrum dan intensitas LED (Merah, Biru, Putih; Rendah dan Tinggi) serta gelap (*dark*) diamati selama 12 hari. Hasil menunjukkan penyinaran LED secara signifikan mempercepat pematangan yang ditandai peningkatan susut bobot dan produksi etilen. Suhu ruang penyimpanan LED naik menjadi 25 °C dibandingkan 22 °C pada *dark*, sehingga mempengaruhi kualitas buah. Perlakuan *red-low* (RL) mempercepat pematangan dengan susut bobot dan etilen tinggi, sedangkan *red-high* (RH) menahan laju pematangan. *Red-high* (RH) memperlambat aktivitas metabolisme buah dan menekan respirasi yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan *dark*, sehingga dapat mempertahankan bobot serta memperlambat pematangan. Penyinaran LED berpotensi meningkatkan vitamin C dan tingkat kemanisan, meskipun secara statistik penyinaran LED tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kelunakan, laju respirasi, padatan terlarut total (PTT) dan asam tertitrasi total (ATT), rasio padatan terlarut total (PTT)/asam tertitrasi total (ATT), dan vitamin C.

Kata kunci: klimakterik, *light emitting diode*, pascapanen, pematangan, penyimpanan

**ABSTRACT**

Papaya (*Carica papaya* L.) is a climacteric fruit that undergoes increased ripening during storage, requiring proper postharvest handling to maintain fruit quality. Light Emitting Diode (LED) converts electrical energy into light, potentially increasing the shelf life of horticultural products. This study evaluated the effects of different LED spectrum and intensity on storage through shrinkage, ethylene production, respiration rate, color degradation, softening, total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TTA), and vitamin C. The study used a Randomized Complete Block Design (RCBD) with one factor, namely lighting with seven treatments of LED spectrum and intensity combinations (Red, Blue, White; Low and High) and a dark control (*dark*) observed for 12 days. The results showed that LED irradiation significantly accelerated ripening as indicated by increased weight loss and ethylene production. The temperature of the LED storage room increased to 25 °C compared to 22 °C in *dark*, thus affecting fruit quality. The *red-low* (RL) treatment accelerated ripening with weight loss and high ethylene, while the *red-high* (RH) treatment inhibited ripening. *red-high* (RH) slowed fruit metabolic activity and suppressed respiration, which was not significantly different from the control treatment, thus maintaining weight and delaying ripening. LED lighting has the potential to increase vitamin C and sweetness levels, although statistically LED lighting does not have a significant effect on softness, respiration rate, total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TTA), ratio total soluble solids (TSS)/total titratable acidity (TTA), and vitamin C.

Keywords: climacteric, *light emitting diode*, maturation, postharvest, storage

## PENDAHULUAN

Pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan salah satu buah tropis yang bernilai ekonomi dengan kenikmatan buahnya. Masyarakat gemar mengkonsumsi buah pepaya karena rasa manis dan mempunyai nilai gizi yang kaya akan vitamin C dan vitamin A (Naway *et al.*, 2023). Pepaya 'Calina' dikenal dengan nama California merupakan salah satu varietas bermutu dan berumur genjah (Cahyany *et al.*, 2021). Varietas ini banyak dibudidayakan karena memiliki buah yang berdaging tebal, ukuran kecil berbentuk lonjong dengan bobot berkisar 1.3 kilogram (kg) per buah, dan tumbuh subur sepanjang tahun di Indonesia (Rahmawati, 2015). Buah pepaya memiliki kadar vitamin C sebesar 113.3 mg per 100 g dan kandungan antioksidan yang sangat tinggi sehingga bermanfaat untuk dikonsumsi (Shufyani & Sinurat, 2022).

Pemenuhan konsumsi buah pepaya terlihat bahwa Indonesia sebagai sentra produksi yang meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2023 produksi pepaya mencapai 1.2 juta ton yang sebelumnya 1 juta ton di tahun 2022 (BPS, 2024). Peningkatan produksi buah pepaya sangat baik dari segi kuantitas, tetapi belum menjamin kualitas yang diberikan. Konsumen tentu memilih buah yang berkualitas tinggi secara internal maupun eksternal. Pemilihan kriteria bentuk, tekstur, warna, dan ukuran menjadi faktor utama dalam daya tarik konsumen (Prihatiningtyas & Wijaya, 2015).

Pepaya termasuk produk hortikultura yang tergolong dalam kategori buah klimakterik, artinya terjadi peningkatan produksi etilen dan laju respirasi setelah panen (Fauziah *et al.*, 2021). Peningkatan kematangan pada buah pepaya memerlukan penanganan pascapanen yang tepat dalam menjaga mutu buah. Bentuk tantangan yang dihadapi dalam pascapanen mencakup penyimpanan dan distribusi yang tentunya mempengaruhi kualitas buah. Struktur kulit pepaya yang tipis jika ditangani dengan tidak tepat membuat buah lebih mudah rusak dan busuk sehingga mempengaruhi susut bobot dan kerusakan lainnya (Ismaya *et al.*, 2023). Penyimpanan yang tepat sangat membantu dalam pencegahan kerusakan dan mengatur pengeluaran kebutuhan buah sesuai permintaan. Seiring dengan lonjakan produksi buah pepaya tentu membutuhkan cara penyimpanan yang baik hingga sampai kepada konsumen. Salah satu bentuk upaya memperpanjang masa simpan dan menjaga kualitas pepaya tetap optimal dengan memberi penyinaran *Light Emitting Diode* (LED).

*Light Emitting Diode* (LED) merupakan

suatu material semikonduktor yang memancarkan cahaya dengan dialiri tegangan maju dari anoda menuju katoda (Simatupang *et al.*, 2021). LED mengubah energi listrik menjadi radiasi elektromagnetik biasanya dalam bentuk cahaya tampak atau inframerah (Rodyoung *et al.*, 2016). Penelitian mengenai pengaruh LED pada pascapanen buah telah dilakukan pada komoditas hortikultura seperti buah klimakterik maupun nonklimakterik. Hasil penelitian Noor *et al.* (2021) menyatakan bahwa penyinaran LED mempengaruhi mutu pascapanen buah stroberi dan umur simpan yang panjang, menonaktifkan bakteri patogen dan mengurangi infeksi jamur. Penelitian Gong *et al.* (2015) pada buah persik mempercepat pematangan dengan kenaikan produksi etilen, sedangkan menurut Dhakal dan Baek (2014) buah tomat memperlambat pematangan dengan penundaan kelunakan dan degradasi pigmen. Menurut Nassawara *et al.* (2021) lampu *Light Emitting Diode* (LED) berpotensi dalam meningkatkan umur penyimpanan tanaman hortikultura yang signifikan. Selain itu, LED memiliki pencegahan degradasi termal yang berpengaruh buruk pada kualitas buah segar. Oleh karena itu, penelitian penyimpanan pascapanen buah menggunakan LED dapat diterapkan pada komoditas pepaya untuk meningkatkan dan menjaga kualitas dari buah tersebut. Pada penelitian ini, pengaruh perlakuan terhadap respons kualitas fisik dan kimia buah diharapkan dapat menunjukkan hasil spektrum dan intensitas cahaya LED yang tepat dan sesuai bagi buah pepaya. Penelitian ini bertujuan menguji respons perubahan kualitas buah pepaya terhadap perbedaan kombinasi spektrum dan intensitas cahaya LED selama penyimpanan.

## BAHAN DAN METODE

Kegiatan pemanenan dilaksanakan di Kebun Pepaya Mulya Farm, Kutayasa, Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah dengan ketinggian tempat  $\pm 220$  meter di atas permukaan laut (mdpl). Analisis pengamatan kualitas fisik dan kimia dilaksanakan di Laboratorium Ekofisiologi Tanaman dan Laboratorium Pascapanen Departemen Agronomi dan Hortikultura. Waktu penelitian pada bulan Januari hingga Maret 2025.

Penelitian dilakukan dengan rancangan kelompok lengkap teracak (RKLK) satu faktor yaitu pencahayaan, yang terdiri dari kombinasi spektrum dan intensitas cahaya LED dan kondisi ruangan gelap tanpa pencahayaan. Masing-masing taraf perlakuan dituliskan sebagai berikut:

- D = *dark* (Kondisi gelap tanpa penyinaran)
- RL = *red-low* (LED merah intensitas rendah)
- RH = *red-high* (LED merah intensitas tinggi)

BL = *blue-low* (LED biru intensitas rendah)  
 BH = *blue-high* (LED biru intensitas tinggi)  
 WL = *white-low* (LED putih intensitas rendah)  
 WH = *white-high* (LED putih intensitas tinggi)

Percobaan ini menggunakan 3 ulangan sehingga diperoleh 21 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri atas 8 buah pepaya yang terbagi 3 buah untuk pengamatan nondestruktif dan 5 buah untuk pengamatan destruktif, sehingga terdapat 168 buah pepaya yang digunakan.

### Persiapan Instalasi Lampu LED

Perakitan instalasi LED berwarna biru, merah, dan putih dirancang pada rak susun yang berada di Laboratorium Ekofisiologi Tanaman. Pengaruh intensitas yang diberikan yaitu sebanyak 2 lampu (intensitas rendah) dan 4 lampu (intensitas tinggi). Penentuan kategori intensitas rendah dan tinggi dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa penelitian yang menggunakan intensitas LED merah sebesar  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Mishra *et al.*, 2019), LED biru sebesar  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Gong *et al.*, 2015), dan LED putih sebesar  $37 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Costa *et al.*, 2013) untuk pascapanen pada buah selama penyimpanan. Intensitas tersebut dijadikan acuan sebagai kategori intensitas rendah dalam penelitian ini, sedangkan untuk intensitas tinggi digunakan intensitas dua kali lipat dari referensi tersebut. Buah pepaya diletakkan 50 cm di bawah penyinaran lampu LED setiap hari selama 24 jam. Pada setiap perlakuan diberi sekat pemisah untuk menjaga buah tidak terpengaruh perlakuan lainnya.

### Persiapan Buah Pepaya

Buah pepaya dengan varietas 'Calina' dipanen di Kebun Mulya Farm dipilih dari tanaman yang terhindar hama penyakit. Pemanenan buah pepaya berdasarkan kenampakan visual. Pepaya yang dipanen dengan kriteria sudah mengeluarkan semburat kuning dengan kematangan kurang dari 25%. Pemilihan buah yang akan digunakan ialah buah yang sehat, tidak terdapat kerusakan pada kualitas fisik, memiliki warna, ukuran, dan berat yang seragam. Buah yang telah disortasi dibersihkan menggunakan kain basah untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada kulit buah. Buah pepaya dikeringkan menggunakan kain kering agar tidak terdapat sisa air pada permukaan buah. Pemberian tanda pada buah menggunakan label sesuai kategori dan ulangan untuk memastikan pencatatan data dengan benar.

### Penyimpanan Buah

Buah ditempatkan pada rak yang telah dipasang instalasi lampu LED. Penyimpanan buah tentu memperhatikan kondisi lingkungan dengan pengukuran suhu menggunakan data logger

TempU selama dilakukan penelitian, serta pengukuran cahaya menggunakan LI-1500 *Light Sensor Logger* secara berkala yaitu awal, pertengahan, dan akhir pengamatan. Pengukuran dengan LI-1500 *Light Sensor Logger* terdapat tiga sensor yaitu fotometrik, pyranometrik, dan quantum. Fotometrik menunjukkan iluminasi atau terangnya cahaya yang dilihat secara visual. Pyranometrik mengukur besaran radiasi atau jumlah total energi cahaya dalam satuan luas yaitu watt per meter persegi, baik cahaya yang terlihat maupun tidak. Quantum mengukur nilai *photosynthetic photon flux density* (PPFD) atau besaran jumlah foton cahaya yang terima. Selama proses penyimpanan buah dilakukan pengamatan kualitas fisik dan pengamatan kualitas kimia.

### Pengamatan Percobaan

Parameter dari percobaan pascapanen terdiri atas pengamatan kualitas fisik dan kualitas kimia. Pengamatan kualitas buah dilakukan pada saat sebelum dan setelah diberi perlakuan yang dilakukan secara nondestruktif dan destruktif. Pengamatan kualitas buah sebelum diberi perlakuan dilakukan pada hari ke-0. Pengamatan yang diberi perlakuan LED dilakukan pada hari ke-1 hingga hari ke-12. Pengujian nondestruktif meliputi susut bobot dan warna kulit buah yang dilakukan setiap hari selama penyimpanan, serta laju respirasi dan produksi etilen yang dilakukan tiga hari sekali. Pengujian destruktif meliputi tingkat kelunakan buah, padatan terlarut total (PTT), asam tertitrasi total (ATT), rasio PTT/ATT, vitamin C yang dilakukan setiap 3 hari sekali yaitu hari ke 0, 3, 6, 9, dan 12. Buah diamati kualitasnya dengan disimpan selama 13 hari setelah panen.

### Pengamatan Kualitas Fisik Buah

- Susut bobot (g): bobot buah diukur menggunakan timbangan. Penyusutan didapatkan melalui selisih bobot dari hari yang diamati dengan saat awal penyimpanan. Persentase penyusutan didapatkan dari selisih hari pertama dan hari terakhir penyimpanan.

$$\frac{\text{Pengukuran awal (g)} - \text{Pengukuran akhir (g)}}{\text{Pengukuran awal (g)}} \times 100\%$$

- Tingkat kelunakan buah ( $\text{mm g}^{-1} \text{s}^{-1}$ ): pengukuran kelunakan buah menggunakan alat penetrometer GY-1 dengan komposisi buah yang utuh atau belum terpisah dari kulitnya.

$$\frac{\text{nilai kedalaman jarum} \times 0.1 \text{ mm}}{202.5 \text{ g} \times 5 \text{ s}}$$

- Warna kulit buah: pengukuran warna menggunakan *colorimeter* WR10 dengan menempatkan kulit buah pepaya pada lensa alat yang telah dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan

dengan bidang berwarna hitam dan putih. Pengukuran berupa L (tingkat kecerahan), a\* (hijau (-) atau merah (+)), b\* (biru (-) atau kuning (+)). Pengukuran dilakukan pada bagian pangkal, tengah, dan ujung yang diulang pada tiga bagian sisi buah pepaya. Perhitungan indeks persamaan *chroma* dan *hue angle* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$Hue\ angle = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Keterangan:

Hue angle + 180, jika a\* < 0 b\* > 0 dan a\* < 0 dan b\* < 0

Hue angle + 360, jika a\* > 0 b\* < 0

### Pengamatan Kualitas Kimia Buah

- Padatan terlarut total (°Brix): pengukuran dilakukan dengan mengambil sari buah yang merupakan hasil penghalusan daging buah menggunakan *hand juicer*. Teteskan sari buah sebanyak 300 µl menggunakan mikropipet di atas kaca *brix acid meter*. Tekan tombol *start* satu kali maka akan tertera pada layar nilai padatan terlarut total (PTT).
- Asam tertitrasi total (%): pengukuran tingkat konsentrasi total asam yang terkandung dalam buah dengan cara mencampurkan sari buah dan aquades perbandingan 1:50 dan diaduk hingga rata. Larutan ditetaskan sebanyak 800 µl menggunakan mikropipet di atas kaca *brix acid meter*. Tekan tombol *start* dua kali maka akan tertera pada layar nilai asam tertitrasi total (ATT).
- Rasio PTT/ATT: nilai Rasio PTT/ATT diperoleh berdasarkan perbandingan nilai PTT (°Brix) dengan ATT (%). Hasil perbandingan tersebut merupakan nilai penentu kualitas internal buah, jika semakin tinggi nilai rasio PTT/ATT maka semakin manis dan matang buahnya.
- Vitamin C (ml per g bahan): analisis kandungan vitamin C dengan metode titrasi menggunakan larutan iodin 0.01N dan larutan indikator amilum. Perhitungan vitamin C menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{Volume\ iodin\ (mL) \times BE \times \left(\frac{N\ standarisasi}{0.01N}\right) \times FP}{Massa\ buah\ (g)}$$

Keterangan:

BE : Bobot ekuivalen (asam askorbat 0.88 mg)  
 FP : Faktor pengenceran (100 ml 10 ml<sup>-1</sup>) = 10

- Laju respirasi (ml kg<sup>-1</sup> per jam): pengukuran laju respirasi dilakukan dengan menginkubasi buah di dalam toples selama 1 jam, kemudian

gas hasil inkubasi diukur menggunakan alat *three gas analyser* Felix F-950. Perhitungan laju respirasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Laju\ respirasi = \frac{V \times K \times 1.76}{W \times B}$$

Keterangan:

K : Kadar emisi CO<sub>2</sub> (%)

B : Bobot bahan (kg)

W : Waktu inkubasi (jam)

V : Volume udara bebas dalam toples (ml)  
 = Vtoples – Vbahan

1.76 : Nilai konstanta gas

- Laju produksi etilen (ppm kg<sup>-1</sup> per jam): pengukuran laju produksi etilen dilakukan dengan menginkubasi buah di dalam toples selama 1 jam, kemudian gas hasil inkubasi diukur menggunakan alat *three gas analyser* Felix F-950. Perhitungan laju produksi etilen menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Laju\ produksi\ etilen = \frac{E}{B \times W \times V}$$

Keterangan:

E : Etilen di alat

B : Bobot bahan (kg)

W : Waktu inkubasi (jam)

V : Volume udara bebas dalam toples (L)  
 = Vtoples – Vbahan

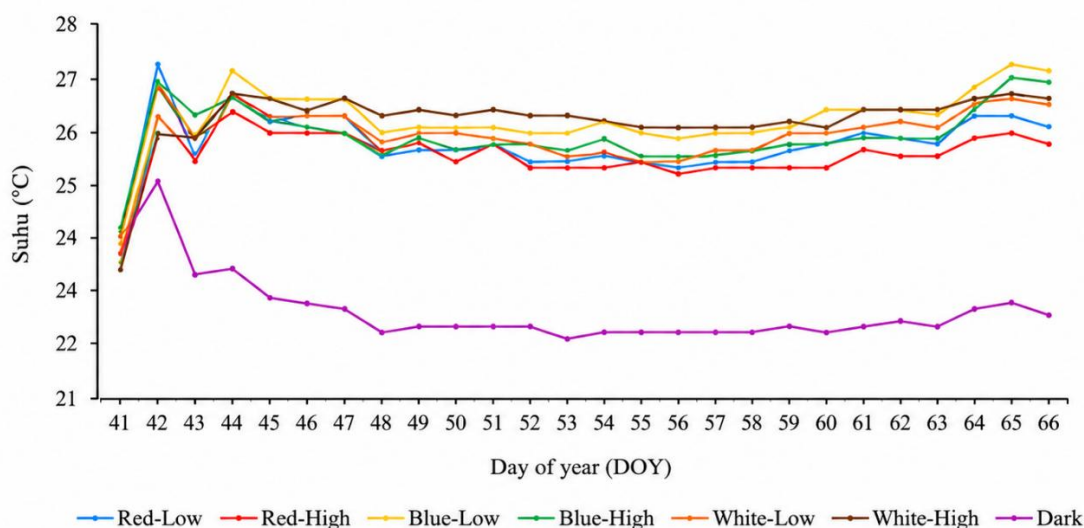
### Analisis Data

Data hasil pengamatan dikumpulkan menggunakan *Microsoft excel*. Analisis menggunakan uji-F pada aplikasi SAS (Statistical Analysis System) pada taraf nyata α = 5%. Jika hasil analisis berpengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan metode Duncan's multiple range test (DMRT).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Lingkungan

Penyimpanan buah sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu yang dapat mempengaruhi kualitas fisik dan kimia buah selama masa penyimpanan. Pengukuran suhu menggunakan *data logger* yang merekam setiap 15 menit sekali. Suhu rata-rata pada setiap perlakuan yaitu *red-high* (RH) 25.3 °C, *red-low* (RL) 25.4 °C, *blue-low* (BL) 25.9 °C, *blue-high* (BH) 25.6 °C, *white-low* (WL) 25.5 °C, *white-high* (WH) 25.8 °C, dan *dark* (D) 22.7 °C. Suhu tertinggi terdapat pada perlakuan *blue-low* (BL) 25.9 °C, sedangkan suhu terendah perlakuan LED yaitu *red-high* (RH) 25.3 °C. Sementara itu, suhu perlakuan *dark* (D) jauh lebih rendah dibandingkan perlakuan penyinaran LED lainnya sebesar 22.7 °C (Gambar 1).



Gambar 1. Rataan suhu harian pada setiap perlakuan selama penyimpanan yang diukur pada *day of year* (DOY) 41–66, mewakili periode penyimpanan selama 26 hari

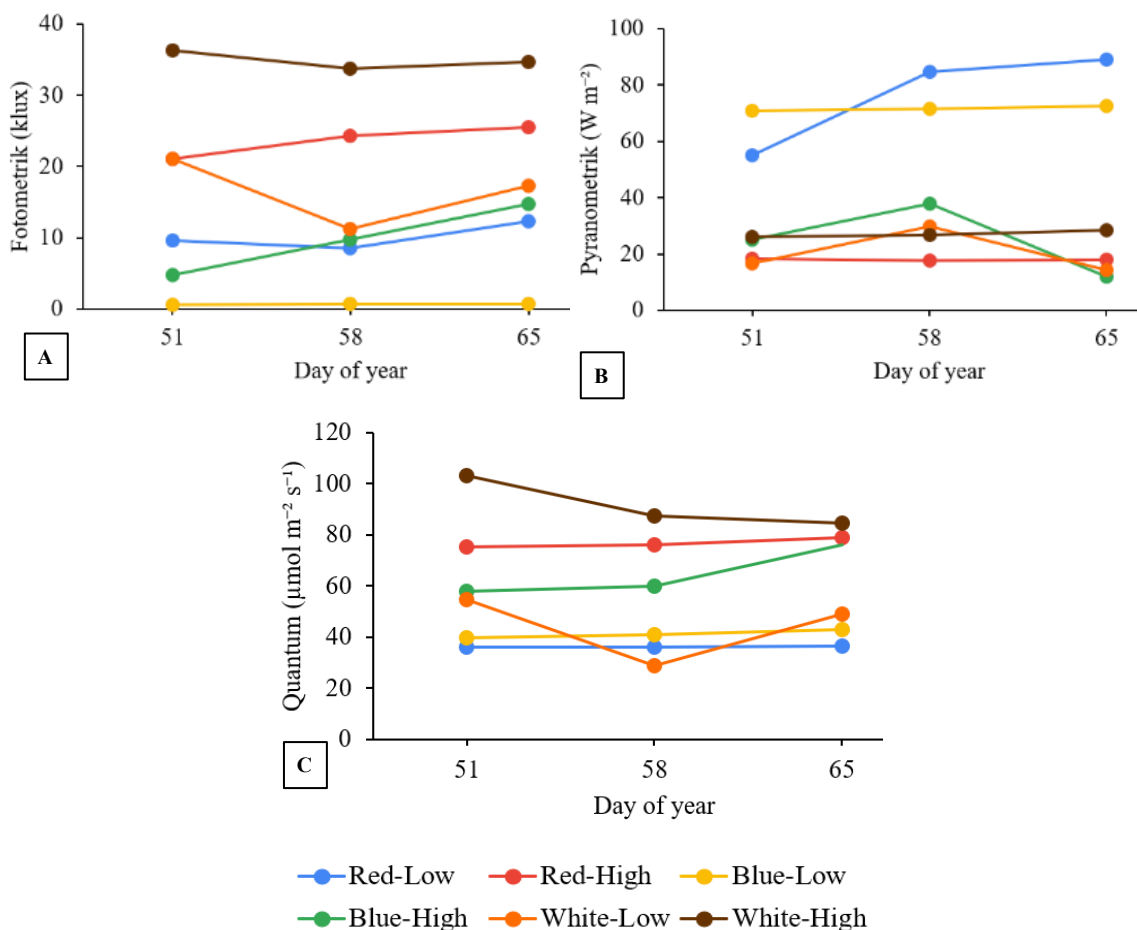
Penyinaran LED memancarkan panas sehingga menaikkan suhu ruang penyimpanan. Penyinaran LED juga memiliki variasi suhu antar spektrumnya. Selain itu, perbedaan suhu antar perlakuan tidak hanya disebabkan oleh besaran jumlah LED yang digunakan, melainkan dapat disebabkan oleh jenis spektrum dan aspek lainnya seperti perbedaan daya energi yang dihasilkan ataupun kondisi sekitar.

Penggunaan LED dalam penyinaran terhadap penyimpanan buah memerlukan pengukuran untuk melihat besaran cahaya yang diterima oleh buah. Pengukuran secara berkala menggunakan LI-1500 *Light Sensor Logger* selama penyimpanan. Fotometrik perlakuan *white-high* (WH) lebih terang dengan fotometrik tertinggi dan stabil berkisar 33-36 klux, diikuti oleh *red-high* (RH) yang meningkat dari 21-26 klux (Gambar 2A). Secara keseluruhan *white-high* (WH) dan *red-high* (RH) paling terang. Setiap spektrum dengan jumlah empat lampu (intensitas tinggi) memiliki nilai fotometrik yang lebih besar dibandingkan dengan spektrum berjumlah dua lampu (intensitas rendah). Pyranometrik perlakuan *red-low* (RL) memiliki nilai tertinggi yang mengindikasikan bahwa daya watt lebih besar meskipun jumlah lampu lebih sedikit dibandingkan *red-high* (RH). Perlakuan *blue-low* (BL) juga memiliki besaran daya yang lebih besar dan konstan selama pengamatan (Gambar 2B). Hal ini menunjukkan bahwa terangnya suatu perlakuan belum tentu memiliki total energi cahaya yang besar pula. Besaran pyranometrik dapat mempengaruhi kondisi suhu yang ada dalam penyimpanan, maka dari itu suhu di *red-low* (RL) lebih tinggi dari *red-*

*high* (RH) dan begitu pula dengan *blue-low* (BL) lebih tinggi dari *blue-high* (BH). Quantum perlakuan *white-high* (WH) menghasilkan foton paling banyak, diikuti oleh *red-high* (RH) dan *blue-high* (BH), sedangkan perlakuan *white-low* (WL), *blue-low* (BL), dan *red-low* (RL) secara berurut menghasilkan foton cenderung lebih rendah (Gambar 2C).

### Susut Bobot

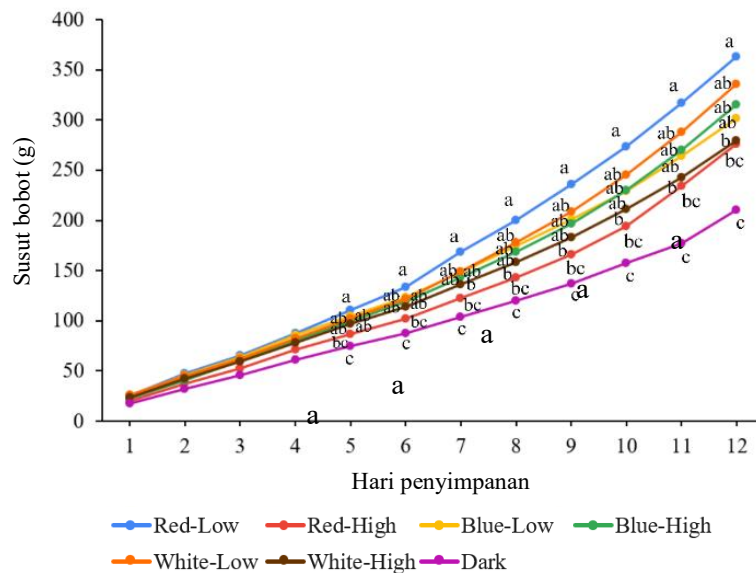
Berdasarkan hasil pengamatan pada susut bobot buah pepaya terlihat bahwa selama masa penyimpanan terjadi penyusutan pada semua perlakuan. Perbedaan signifikan antar perlakuan ditunjukkan pada hari ke-5 hingga hari ke-12 (Gambar 3). Persentase susut bobot hari ke-12 terbesar terjadi pada perlakuan *red-low* (RL) yaitu sebesar 38.62%, sedangkan persentase susut bobot terendah pada perlakuan *dark* (D) sebesar 22.39%. Persentase terkecil pada perlakuan penyinaran LED *red-high* (RH) yaitu 27.16% dan 28.27% *white-high* (WH). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian cahaya selama penyimpanan mempengaruhi laju fisiologis buah. Semakin tinggi susut bobot maka kualitas yang dihasilkan semakin tidak baik karena buah lebih banyak kehilangan kadar air (Ashadi *et al.*, 2022). Susut bobot disebabkan oleh proses respirasi dan transpirasi melalui penguraian glukosa menjadi karbondioksida lalu kehilangan air (Muhammad *et al.*, 2021). Transpirasi menyebabkan penyusutan dengan terjadinya perubahan fisikokimia berupa penyerapan dan pelepasan air ke lingkungan (Arti & Manurung, 2018).



Gambar 2. Pengukuran intensitas cahaya pada skala warna selama penyimpanan yang dilakukan pada DOY 51, 58, dan 65 (awal, pertengahan, dan akhir periode penyimpanan) berdasarkan nilai fotometrik (A), piranometrik (B), dan kuantum (C)

Perlakuan penyinaran LED memiliki persentase susut bobot yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tanpa lampu (*dark*). Hal ini terjadi karena perbedaan kondisi suhu penyimpanan. Suhu rata-rata *dark* sebesar 22.7 °C lebih rendah dibandingkan perlakuan penyinaran LED berkisar rata-rata 25 °C. Penyinaran LED meningkatkan suhu penyimpanan sehingga mempengaruhi hasil kualitas buah dan transpirasi yang lebih besar. Semakin tinggi suhu akan meningkatkan susut bobot buah (Triardianto *et al.*, 2022). Selain itu, energi cahaya berupa total radiasi (piranometrik) pada perlakuan *red-low* (RL) meningkat sangat tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yang turut menyebabkan peningkatan suhu lokal dan tingkat kehilangan air. Kondisi *red-high* (RH) memiliki total radiasi yang diterima lebih rendah dan konstan sehingga persentase susut bobot perlakuan tersebut lebih rendah. Penyimpanan dengan penyinaran LED mempercepat aktivitas metabolisme buah dan transpirasi serta kerusakan jaringan lebih besar dibandingkan *dark* sehingga meningkatkan susut bobot selama masa penyimpanan.

Menurut hasil penelitian Noor *et al.* (2021), pengaruh perlakuan LED merah dan biru pada buah stroberi menyebabkan susut bobot bisa mencapai 20%. Selain itu, penelitian Martinez-Zamora *et al.* (2023) pada buah tomat perlakuan cahaya LED meningkatkan susut bobot hingga mencapai 70% dibandingkan kondisi *dark*. Penurunan bobot yang lebih tinggi dipicu stres oksidatif abiotik yang diinduksi selama pencahayaan berkelanjutan dan panas yang ditransmisikan oleh pencahayaan. Penelitian ini juga menyatakan bahwa terjadi peningkatan suhu berkisar 2 °C di dalam wadah yang disimpan dibawah penyinaran LED yang berkontribusi terhadap pemanasan pada buah. Suhu yang rendah menonaktifkan metabolisme sehingga mencegah pematangan buah tomat dan pematangan lebih cepat terjadi pada kondisi pencahayaan. Begitu pun penelitian ini, kondisi tanpa cahaya (*dark*) yang terjadi di buah pepaya dengan suhu lebih rendah menghasilkan pematangan lebih lambat yang ditandai dengan susut bobot paling kecil dibandingkan penyinaran LED.



Gambar 3. Susut bobot buah pepaya setiap perlakuan selama penyimpanan. Notasi huruf yang sama pada setiap garis pada hari pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf signifikansi 5%

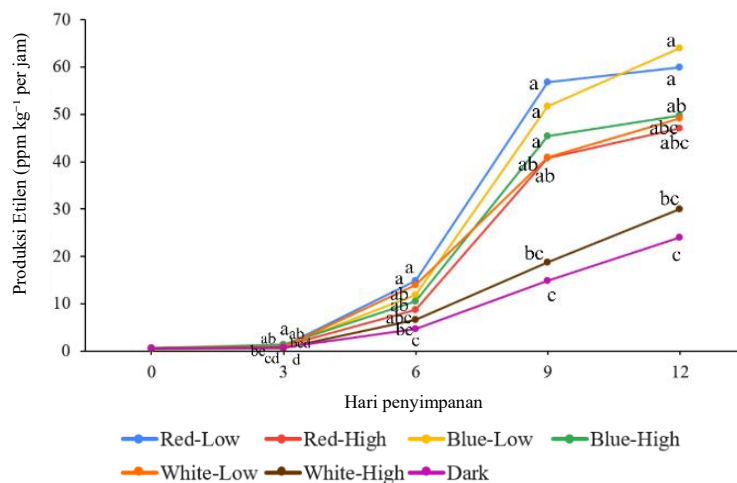
### Produksi Etilen

Laju produksi etilen mengalami peningkatan hingga akhir masa penyimpanan. Produksi etilen memicu lonjakan respirasi melalui hormon alami yang ada pada buah sebagai pemicu pematangan yang menandakan buah memasuki fase klimakterik. Produksi hormon menghasilkan enzim pematangan seperti amilase, pektinase, kinase, dan hidrolase (Fauziah *et al.*, 2021). Setiap perlakuan mulai berpengaruh nyata pada hari ke-3 dengan mengalami peningkatan hingga hari ke-9 (Gambar 6). Produksi etilen masing-masing perlakuan berbeda selama masa penyimpanan. red-low (RL) dan white-low (WL) memiliki produksi etilen lebih besar di hari ke-6 dibandingkan perlakuan dark (D). Lonjakan produksi etilen tinggi pada hari ke-9 dengan red-low (RL) lebih besar dalam pematangan buah, diikuti oleh blue-low (BL) dan blue-high (BH). Hari ke-12 peningkatan produksi etilen dark (D) jauh lebih rendah yang dapat memperlambat proses pematangan. Hal ini menunjukkan bahwa selama penyimpanan di semua perlakuan dengan penyinaran lampu LED mengalami peningkatan produksi etilen yang lebih besar. Selain itu, pada akhir masa penyimpanan kenaikan laju produksi etilen tidak begitu drastis meningkat artinya sudah mulai stabil setelah puncak produksinya tercapai. Cahaya dapat mempercepat atau menunda pematangan buah dengan mengontrol jumlah produksi etilen (Nassarawa *et al.*, 2021). Proses pematangan pada buah persik lebih cepat selama

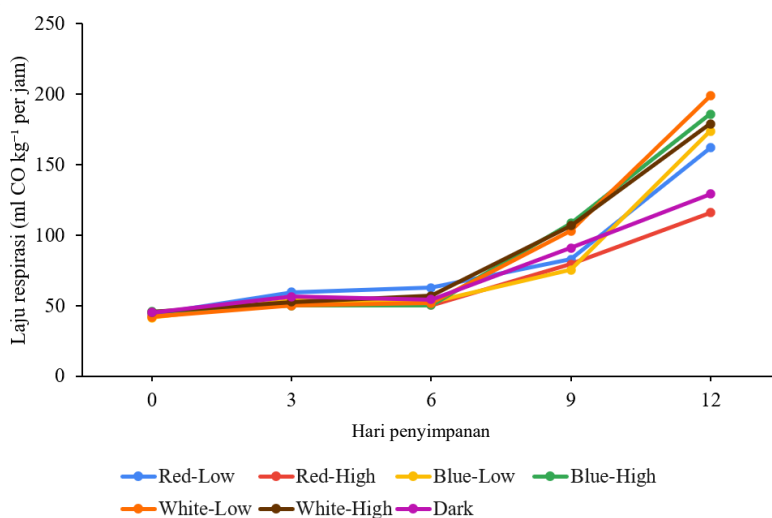
penyimpanan dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi melalui peningkatan sintesis etilen secara signifikan. Cahaya biru pada buah persik menyebabkan peningkatan aktivitas lipoksigenase, asam 1-aminosiklopropana-1-karboksilat, faktor respons etilen, sensor etilen dan reseptor etilen (Gong *et al.*, 2015). Selain itu, peningkatan produksi etilen terjadi pada buah jeruk manis dengan perlakuan LED biru (Ballester & Lafuente, 2017).

### Laju Respirasi

Semua perlakuan mengalami peningkatan laju respirasi selama penyimpanan, akan tetapi perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap laju respirasi (Gambar 7). Penyimpanan buah mengalami peningkatan laju respirasi atau dikenal dengan puncak klimakterik yang lebih cepat pada hari ke-9 hingga hari ke-12. Laju respirasi red-low (RL) pada hari ke-3 hingga hari ke-6 menunjukkan besaran yang lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya, sehingga hal ini menyebabkan terjadinya penyusutan pada buah selama penyimpanan. Pada hari ke-9, buah perlakuan blue-high (BH) diikuti oleh white-high (WH) dan white-low (WL) mengalami peningkatan laju respirasi. Dark (D) menunjukkan bahwa laju respirasi pada kondisi tanpa penyinaran LED tetap terjadi. Laju respirasi pada dark (D) di awal penyimpanan cukup besar, meskipun tidak sebesar yang terjadi pada perlakuan red-low (RL), perlakuan dark (D) cenderung normal tidak terlalu besar saat awal penyimpanan dan tidak terlalu kecil saat akhir penyimpanan.



Gambar 6. Laju produksi etilen buah pepaya setiap perlakuan selama penyimpanan. Notasi huruf yang sama pada setiap garis pada hari pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berpengaruh nyata berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf signifikansi 5%



Gambar 7. Laju respirasi buah pepaya setiap perlakuan selama penyimpanan

Perlakuan *red-high* (RH) meskipun di awal penyimpanan laju respirasinya tidak begitu rendah, akan tetapi perlakuan ini cenderung mempertahankan laju respirasi selama penyimpanan dengan peningkatan yang tidak begitu drastis hingga akhir pengamatan. Hasil laju respirasi tertinggi hari ke-12 pada perlakuan *white-low* (WL) sebesar 199 ml kg<sup>-1</sup> per jam. Laju respirasi pada hari ke-12 terendah terjadi pada perlakuan *red-high* (RH) sebesar 116 ml kg<sup>-1</sup> per jam, diikuti oleh *dark* (D) sebesar 129 ml kg<sup>-1</sup> per jam. Laju respirasi *dark* (D) merupakan bentuk pematangan yang terjadi secara endogen tanpa pengaruh penyinaran seperti perlakuan lainnya. Laju respirasi mengukur percepatan pematangan dan kerusakan jaringan, sehingga berdampak pada hasil akhir dari penyimpanan buah seperti susut bobot.

Beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan laju respirasi yaitu suhu dan intensitas cahaya. Pada umumnya penyinaran LED dengan rata-rata suhu 25 °C menunjukkan peningkatan laju respirasi, meskipun tidak berbeda nyata dengan *dark*. Peningkatan suhu mempercepat laju respirasi, sebaliknya penurunan suhu dapat menghambat laju respirasi sehingga mempertahankan transformasi pati menjadi gula (Muhammad *et al.*, 2021). Suhu tinggi menyebabkan peningkatan respirasi, transpirasi, dan hormon etilen sehingga mudah mengalami kerusakan (Mubarok *et al.*, 2015). Selain itu, suhu rendah menghambat pematangan buah dan memperpanjang umur simpan ketika terjadinya penundaan waktu puncak klimakterik (Rahayu *et al.*, 2021). Akan tetapi, di akhir penyimpanan perlakuan *red-high* (RH) mampu mempertahankan

tingkat laju respirasi. Hal ini menunjukkan bahwa selain suhu, penyinaran LED juga dapat mempengaruhi laju respirasi seperti nilai pyranometrik pada *red-high* (RH) yang rendah.

### Warna Kulit Buah Pepaya

Warna kulit buah pepaya sebagai bentuk visual yang dilihat dalam mempertimbangkan rasa dan aroma. Pengukuran dilakukan untuk mengamati perubahan warna yang terjadi sebagai salah satu buah klimakterik. Perubahan warna ditandai dengan parameter *chroma* (C), *hue angle* (h), *lightness* (L\*), *redness* (a\*), dan *yellowness* (b\*).

#### Chroma Kulit Buah Pepaya

*Chroma* (C) merupakan intensitas warna yang tidak memiliki batas tetap besaran secara universal karena tergantung oleh nilai *Redness* (a\*) dan *Yellowness* (b\*), semakin besar nilainya maka semakin mengkilap dan tajam warna buah. Selama penyimpanan, *chroma* buah pepaya meningkat seiring pematangan dan mulai menurun setelah hari ke-6 (Gambar 8). Buah dengan perlakuan *red-high* (RH) meskipun mengalami penurunan hari ke-6, memiliki nilai yang tinggi dalam mempertahankan kecerahan kulit buah dan buah pepaya lebih mengkilap dari semua perlakuan selama penyimpanan. Sebelum diberi perlakuan kondisi buah memiliki tingkat kecerahan yang sama, namun setelah diberikan perlakuan warna buah mulai meningkat seiring dengan pematangannya. Penurunan nilai *chroma* menunjukkan bahwa terjadinya degradasi warna atau pемudaran karena proses fisiologis buah. Hasil penelitian Atmaca *et al.* (2024) nilai *chroma* tertinggi pada buah pepaya mencapai angka 60.7 dan menurut Hasan *et al.*

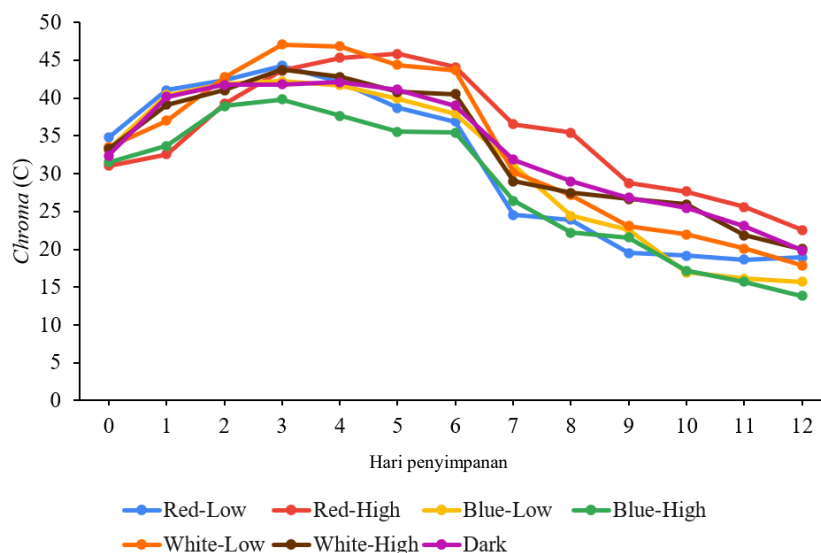
(2018) memiliki nilai *chroma* tertinggi sebesar 54.56, sedangkan pada penelitian ini nilai *chroma* tertinggi sebesar 47.07 pada perlakuan *white-low* (WL).

#### Lightness (L) Kulit Buah Pepaya

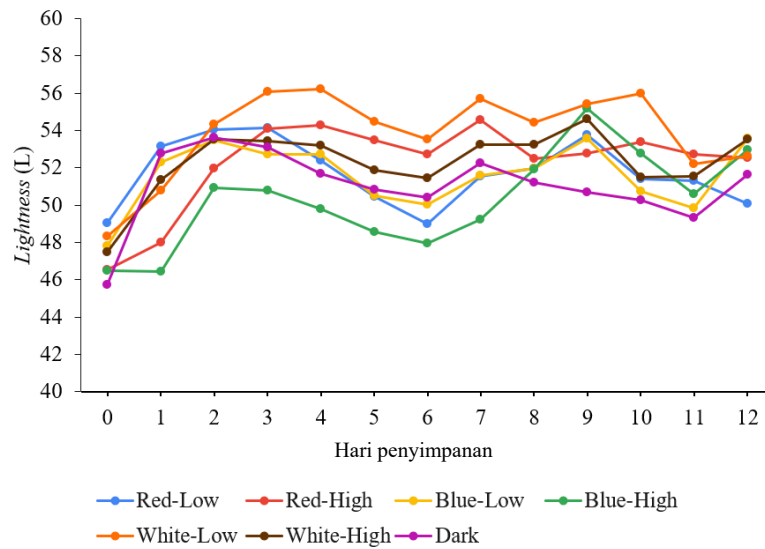
*Lightness* (L) menunjukkan seberapa terang atau gelapnya warna kulit buah. Semakin tinggi nilainya maka semakin meningkatkan kecerahan warna (Darmawati *et al.*, 2018). Buah pepaya sebelum perlakuan memiliki tingkat *Lightness* rata-rata 47, lalu setelah diberi perlakuan peningkatan cukup cepat (Gambar 9). Peningkatan kecerahan menunjukkan buah pepaya sedang memasuki fase pematangan (Ismaya *et al.*, 2023). Selama penyimpanan *red-high* (RH) tampak lebih stabil mempertahankan warnanya, meskipun terdapat *white-low* (WL) dengan nilai yang lebih tinggi dan cukup tidak stabil hingga akhir penyimpanan. *blue-high* (BH) memiliki *lightness* cenderung lebih gelap dari semua perlakuan lainnya dan pada hari ke-7 mengalami kenaikan. Perlakuan *dark* (D) menunjukkan peningkatan nilai kecerahan yang tidak terlalu besar, namun tidak berbeda dengan perlakuan LED lainnya.

#### Hue Angle Kulit Buah Pepaya

*Hue angle* (h) menunjukkan jenis warna dominan pada suatu kulit buah, apabila mendekati 0° warna semakin merah, semakin mendekati 90° warna semakin kuning, dan jika mendekati 180° warna semakin hijau (Darmawati *et al.*, 2018). *Hue angle* pada buah pepaya saat sebelum diberi perlakuan dominan dalam kondisi seragam yaitu buah masih berwarna hijau sedikit kekuningan (belum matang).



Gambar 8. *Chroma* kulit buah pepaya selama penyimpanan



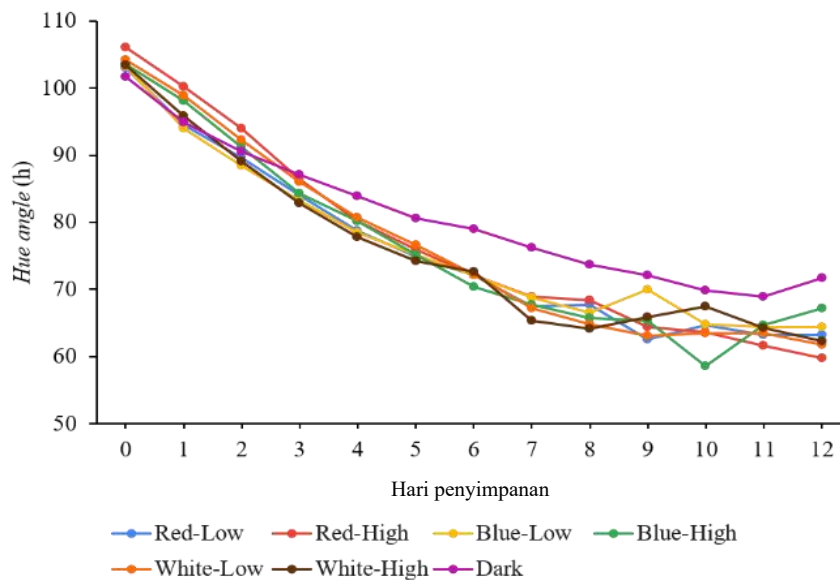
Gambar 9. *Lightness* (L) kulit buah pepaya selama penyimpanan

Saat setelah pemberian perlakuan, *hue angle* bergerak turun mendekati  $90^\circ$  hingga hampir  $50^\circ$ , hal ini menandakan bahwa buah pepaya mengalami perubahan warna dari awalnya hijau menjadi kuning hingga mendekati merah (oranye) seiring pematangan buah (Gambar 10). Perlakuan *dark* (D) terlihat sedikit berbeda dari perlakuan penyinaran LED meskipun mengikuti pola yang sama. Perlakuan *dark* (D) cenderung menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yang mengindikasikan kemampuannya sedikit lebih baik dalam mempertahankan warna kuning pada buah.

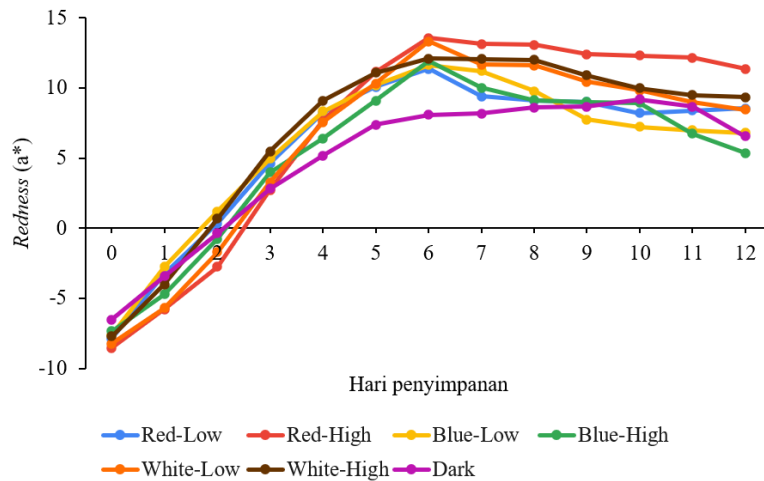
*Redness Kulit Buah Pepaya*

*Redness* ( $a^*$ ) menampilkan nilai positif yang artinya semakin besar nilainya maka semakin mendekati warna merah ( $+100$ ), sedangkan

semakin besar nilai negatif artinya warna semakin hijau ( $-100$ ) (Budiono *et al.*, 2019). Awal penyimpanan sebelum diberi perlakuan keadaan buah masih berwarna hijau untuk nilai  $a^*$  berkisar  $-5$  hingga  $-10$  yang sejalan dengan penelitian Darmawati *et al.* (2018). Seiring pematangan buah mengalami peningkatan hingga puncak rata-ratanya tertinggi di hari ke-6 dengan kondisi buah mengarah menuju merah (oranye) hingga akhir penyimpanan (Gambar 11). Semakin akhir masa penyimpanan, setiap perlakuan cenderung menunjukkan kemampuan dalam mempertahankan kondisi buah tetap stabil. Penurunan nilai  $a^*$  perlakuan *red-high* (RH) lebih lambat dibandingkan perlakuan lainnya, menunjukkan buah memiliki tingkat kemerahan yang lebih menarik



Gambar 10. *Hue angle* kulit buah pepaya selama penyimpanan



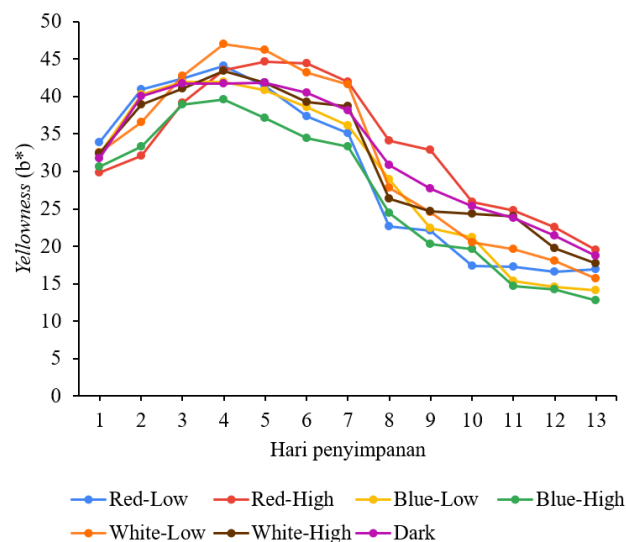
Gambar 11. Redness ( $a^*$ ) kulit buah pepaya selama penyimpanan

### Yellowness Kulit Buah Pepaya

Yellowness ( $b^*$ ) mengukur skala warna dengan melihat nilai suatu buah apakah lebih dominan kuning atau biru. Semakin besar angka yang mengarah nilai positif (+100) maka warna semakin kuning, sedangkan semakin besar nilai negatif (-100) warna semakin biru (Budiono *et al.*, 2019). Kondisi buah pepaya pada awal penyimpanan sedikit lebih kuning dan mengalami peningkatan seiring pematangan buah. Nilai yellowness cenderung menurun saat buah mengalami penurunan kualitas setelah hari ke-7 yaitu saat buah mulai memasuki fase klimakterik hingga saat puncak klimakterik buah (Gambar 12). Perubahan warna yang terjadi menggambarkan kondisi visual dari kulit buah pepaya seiring dengan pematangan selama masa penyimpanan. Perlakuan *white-low* (WL) hari ke-4 dan ke-5 dengan nilai  $b^*$  paling tinggi, namun tampaknya

mengalami penurunan yang lebih besar. Selain itu, perlakuan *red-high* (RH) meskipun mengalami penurunan nilai  $b^*$  namun tetap memiliki nilai yang lebih tinggi di antara perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *red-high* (RH) memperlambat penurunan dominasi warna kuning pada buah pepaya agar tetap lebih menarik.

Warna buah dipengaruhi oleh suhu dan fisiologi buah (Casati *et al.*, 2012). Suhu mempengaruhi pematangan sehingga mengalami degradasi klorofil dan sintesis pigmen seperti karotenoid ataupun antosianin. Kandungan pigmen membentuk warna kulit buah, degradasi klorofil mengubah warna hijau buah pepaya menjadi kuning (Almaidah *et al.*, 2022). Hilangnya warna hijau pada buah karena terjadi oksidasi terhadap ikatan rangkap molekul klorofil selama proses pematangan (Mudyantini *et al.*, 2017). Perubahan warna setelah panen berhubungan dengan akumulasi berbagai pigmen.



Gambar 12. Yellowness ( $b^*$ ) kulit buah pepaya selama penyimpanan

Peningkatan suhu pada penyinaran LED mempercepat pematangan yang ditandai nilai  $a^*$  dan  $b^*$ . Selain itu, intensitas cahaya memiliki peran dalam indeks warna buah yang menentukan umur simpannya (Nassarawa *et al.*, 2021).

### Tingkat Kelunakan Buah

Kelunakan menjadi indikator dalam proses pematangan, buah pepaya mengalami peningkatan kelunakan selama penyimpan. Perlakuan LED tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, beberapa perlakuan mempertahankan kelunakannya hingga hari ke-6 (Tabel 1). Peningkatan kelunakan sangat drastis yang ditunjukkan hari ke-9 hingga hari ke-12. Perlakuan *dark* (D) meningkat secara bertahap yang ditandai dengan naiknya di hari ke-6, akan tetapi cukup konsisten hingga akhir penyimpanan. Perlakuan penyinaran LED meningkat pesat pada hari ke-9 hingga hari ke-12. Namun perlakuan *white-low* (WL) dan *white-high* (WH) pada akhir penyimpanan tingkat kelunakannya mengalami lonjakan yang besar, sedangkan kelunakan yang masih rendah di antara semua perlakuan penyinaran LED yaitu perlakuan *red-high* (RH). Perbedaan tingkat kelunakan buah merupakan bentuk proses fisiologis yang juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya (Larasati & Wardiyati, 2019). Proses pelunakan terjadi didorong oleh produksi etilen dan laju respirasi buah. Secara umum produksi etilen meningkat di hari ke-9 dan laju respirasi di hari ke-12, maka dari itu tingkat kelunakan yang cukup besar terjadi pada hari tersebut. Produksi etilen berperan dalam proses pematangan dan pelunakan tekstur buah klimakterik (Tucker *et al.*, 2017). Kelunakan mengalami perubahan komposisi dinding sel selama pematangan (Ismaya *et al.*, 2023). Proses metabolisme sel dalam buah menurunkan kandungan asam organik, mengubah karbohidrat menjadi gula, membentuk senyawa volatil, menurunkan tekanan turgor pada dinding sel sehingga buah matang mengalami kelunakan

selama penyimpanan (Kesuma & Silvia, 2023).

### Kandungan PTT, ATT, dan rasio PTT/ATT Buah Pepaya

Buah klimakterik mengalami perubahan kualitas rasa selama masa penyimpanan. Padatan terlarut total (PTT) merupakan tingkat kandungan gula dalam pematangan buah, sedangkan asam tertitrasi total (ATT) merupakan tingkat keasaman yang ada dalam buah. Kandungan PTT dan ATT pada semua perlakuan cenderung meningkat jika dibandingkan sebelum diberi perlakuan (hari ke-0). Peningkatan PTT merupakan proses hidrolisis pati menjadi gula yang terlarut dalam air (Fauziah *et al.*, 2021). Peningkatan kadar gula sebagai ciri pematangan buah (Almaidah *et al.*, 2022). Rata-rata kenaikan PTT setelah diberi perlakuan LED lebih stabil dengan mempertahankan kandungan gula dalam buah, meskipun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan (Tabel 2). Kandungan PTT *dark* (D) dominan lebih besar, akan tetapi kemanisan buah juga dipengaruhi oleh tingkat keasamannya yang berdampak pada rasa dan kualitas gizi buah (Fauziah *et al.*, 2021). Setelah diberikan perlakuan kandungan asam buah pepaya meningkat, penyinaran LED tampaknya menekan keasaman buah dibandingkan tanpa penyinaran LED. Peningkatan ATT drastis dari hari ke-9 hingga hari ke-12, ditandai oleh pematangan buah dengan puncak klimakterik yang menandakan penurunan kualitas buah. Rasio PTT/ATT merupakan perbandingan tingkat kemanisan buah setelah dipengaruhi keasaman. Saat kandungan gula lebih dominan dari pada asam maka rasa lebih manis (Rodriguez *et al.*, 2020). Kandungan gula merupakan bagian dari bobot segar buah yang meningkat seiring pematangan, sehingga menghasilkan buah yang lebih manis dan kurang asam (Meiramkulova *et al.*, 2023). Kemanisan buah pada perlakuan merah dan biru cenderung meningkatkan atau mempertahankan kemanisan di hari ke-3 hingga hari ke-9.

Tabel 1. Kelunakan ( $\text{mm g}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) buah pepaya selama penyimpanan

Perlakuan	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12
<i>dark</i>	$1.41 \times 10^{-3}$	$4.44 \times 10^{-3}$	$6.64 \times 10^{-3}$	$6.91 \times 10^{-3}$	$8.15 \times 10^{-3}$
<i>red-low</i>	$1.43 \times 10^{-3}$	$4.93 \times 10^{-3}$	$5.84 \times 10^{-3}$	$7.26 \times 10^{-3}$	$9.22 \times 10^{-3}$
<i>red-high</i>	$1.43 \times 10^{-3}$	$4.22 \times 10^{-3}$	$5.33 \times 10^{-3}$	$6.88 \times 10^{-3}$	$8.24 \times 10^{-3}$
<i>blue-low</i>	$1.43 \times 10^{-3}$	$4.01 \times 10^{-3}$	$4.81 \times 10^{-3}$	$5.51 \times 10^{-3}$	$8.81 \times 10^{-3}$
<i>blue-high</i>	$1.41 \times 10^{-3}$	$4.53 \times 10^{-3}$	$5.79 \times 10^{-3}$	$7.33 \times 10^{-3}$	$9.26 \times 10^{-3}$
<i>white-low</i>	$1.41 \times 10^{-3}$	$4.10 \times 10^{-3}$	$5.90 \times 10^{-3}$	$7.13 \times 10^{-3}$	$10.79 \times 10^{-3}$
<i>white-high</i>	$1.43 \times 10^{-3}$	$4.94 \times 10^{-3}$	$7.08 \times 10^{-3}$	$8.05 \times 10^{-3}$	$10.82 \times 10^{-3}$
Pr>F	0.99 <sup>tn</sup>	0.82 <sup>tn</sup>	0.46 <sup>tn</sup>	0.53 <sup>tn</sup>	0.71 <sup>tn</sup>
KK (%)	16.86	21.57	22.12	20.11	25.90

Keterangan:  $>0.05$  tn = tidak berpengaruh nyata, KK = koefisien keragaman.

Tabel 2. PTT, ATT, dan rasio PTT/ATT buah pepaya selama penyimpanan

Perlakuan	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12
PTT (°Brix)					
<i>dark</i>	9.87	11.07	8.70	11.33	10.03
<i>red-low</i>	8.73	11.00	10.80	11.23	11.10
<i>red-high</i>	9.63	10.47	10.23	10.60	10.00
<i>blue-low</i>	9.77	10.33	11.00	10.77	10.57
<i>blue-high</i>	9.93	10.17	10.70	10.03	10.60
<i>white-low</i>	9.90	10.33	9.67	11.67	11.03
<i>white-high</i>	9.90	9.80	10.23	9.23	10.60
Pr>F	0.88 <sup>tn</sup>	0.93 <sup>tn</sup>	0.42 <sup>tn</sup>	0.40 <sup>tn</sup>	0.95 <sup>tn</sup>
KK (%)	12.48	13.94	12.93	12.79	14.30
ATT (%)					
<i>dark</i>	0.76	0.88	0.81	0.89	1.02
<i>red-low</i>	0.76	0.70	0.63	0.78	1.56
<i>red-high</i>	0.78	0.77	0.78	0.91	1.45
<i>blue-low</i>	0.68	0.67	0.67	0.81	1.75
<i>blue-high</i>	0.68	0.75	0.75	0.82	1.70
<i>white-low</i>	0.65	0.74	0.78	0.92	1.64
<i>white-high</i>	0.68	0.76	0.83	0.85	1.32
<i>dark</i>	0.76	0.88	0.81	0.89	1.02
Pr>F	0.17 <sup>tn</sup>	0.16 <sup>tn</sup>	0.54 <sup>tn</sup>	0.91 <sup>tn</sup>	0.31 <sup>tn</sup>
KK (%)	9.55	11.15	18.43	19.03	25.44
PTT/ATT					
<i>dark</i>	13.03	12.55	11.67	12.81	10.68
<i>red-low</i>	11.44	15.70	17.43	14.54	7.16
<i>red-high</i>	12.36	13.65	13.36	12.09	7.70
<i>blue-low</i>	14.49	15.44	16.52	13.37	6.55
<i>blue-high</i>	14.60	13.79	14.40	12.25	6.34
<i>white-low</i>	15.44	14.04	13.52	13.28	6.86
<i>white-high</i>	14.43	12.79	12.72	10.89	8.48
Pr>F	0.13 <sup>tn</sup>	0.50 <sup>tn</sup>	0.17 <sup>tn</sup>	0.51 <sup>tn</sup>	0.34 <sup>tn</sup>
KK (%)	12.50	15.36	19.76	16.36	30.28

Keterangan: >0.05 tn = tidak berpengaruh nyata, KK = koefisien keragaman.

Hari ke-12 kemanisan buah menurun karena keasaman yang lebih dominan dan mempengaruhi kemanisan di akhir penyimpanan. Perlakuan LED *red-low* (RL) dan *blue-low* (BL) memiliki kenaikan rasio lebih besar dibanding perlakuan lainnya. Kondisi buah pada kondisi penyimpanan *dark* (D) konsisten lebih bertahan walaupun tingkat kemanisan yang dimiliki tidak begitu besar. Kandungan PTT yang diberi perlakuan *dark*, merah, dan biru menunjukkan tidak berbeda nyata dan tetap konstan pada buah tomat (Dhakal & Baek, 2014).

### Kandungan Vitamin C Buah Pepaya

Vitamin C disebut juga asam askorbat sebagai parameter nutrisi yang menggambarkan kualitas buah (Fauziah *et al.*, 2021). Kandungan vitamin C pada buah selama penyimpanan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan pematangan buah. Hal ini terjadi karena biosintesis

glukosa dalam buah (Wekti & Khanifa, 2019). Awal penyimpanan sebelum diberi perlakuan kandungan vitamin C rata-rata 79.6 mg 100 g<sup>-1</sup> bahan. Setelah diberikan penyinaran LED buah mengalami peningkatan pada masing-masing perlakuan. Pematangan buah pepaya akan mengalami peningkatan vitamin C sekitar 20%-30% (Zhou *et al.*, 2021). Hari ke-3 hingga hari ke-9 kandungan vitamin C pada *blue-low* (BL) meningkat lebih besar dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 3). Sementara itu kondisi buah tanpa penyinaran LED yaitu *dark* (D) secara alami mengalami peningkatan pada hari ke-3, akan tetapi hari ke-6 hingga akhir penyimpanan tidak cukup besar dari sebelumnya. Spektrum biru dominan lebih besar dalam meningkatkan kandungan vitamin C, hanya saja secara analisis data tidak cukup membuktikan adanya pengaruh yang nyata pada pemberian perlakuan.

Tabel 3. Vitamin C (mg 100 g<sup>-1</sup> bahan) buah pepaya selama penyimpanan

Perlakuan	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12
<i>dark</i>	78.93	96.67	82.10	90.20	91.80
<i>red-low</i>	82.13	85.33	88.57	96.60	99.83
<i>red-high</i>	80.50	88.57	88.60	88.57	83.77
<i>blue-low</i>	75.70	91.80	90.17	98.23	106.27
<i>blue-high</i>	80.53	88.57	88.60	107.90	90.20
<i>white-low</i>	80.53	85.33	78.93	90.20	99.83
<i>white-high</i>	78.93	83.73	80.53	82.13	99.83
Pr>F	0.99 <sup>tn</sup>	0.55 <sup>tn</sup>	0.93 <sup>tn</sup>	0.71 <sup>tn</sup>	0.31 <sup>tn</sup>
KK (%)	12.92	9.44	17.52	19.48	11.84

Keterangan: >0.05 tn = tidak berpengaruh nyata, KK = koefisien keragaman.

Vitamin C buah tomat meningkat lebih besar pada spektrum merah, meskipun tidak berbeda nyata antar perlakuan spektrum merah, full spektrum, LED UV dan kontrol (Meiramkulova *et al.*, 2023). LED merah dan biru mampu meningkatkan kandungan antioksidan, fenolat, kandungan gula, asam askorbat dan aktivitas enzimatis yang terjadi pada buah jeruk dan stroberi (Nassarawa *et al.*, 2021). Kandungan vitamin C pepaya 'Calina' berkisar antara 92-114 mg 100 g<sup>-1</sup> (Lestari & Darmayanti, 2021).

### KESIMPULAN

Penggunaan *Light Emitting Diode* (LED) pada penanganan pascapanen berpotensi dalam mempercepat pematangan buah selama penyimpanan. Penyinaran LED secara signifikan berpengaruh dalam proses pematangan buah yang ditandai oleh peningkatan susut bobot dan produksi etilen. Perlakuan *red-low* (RL) mempercepat proses pematangan ditandai dengan susut bobot dan produksi etilen yang tinggi. *red-high* (RH) memperlambat aktivitas metabolisme buah dengan menekan respirasi yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan *dark*, sehingga dapat mempertahankan bobot serta memperlambat pematangan. Penyinaran LED berpotensi meningkatkan vitamin C dan tingkat kemanisan, meskipun pada penelitian ini secara statistik penyinaran LED tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kelunakan, laju respirasi, PTT, ATT, rasio PTT/ATT, dan vitamin C.

### DAFTAR PUSTAKA

- Akamine, E. K., & Goo, T. (1971). Relationship between surface color development and total soluble solids in papaya. *HortScience*, 6, 567–568.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.6.6.567>
- Almaidah, R. M., & Kurniawan, M. F. (2022). Karakteristik sensori dan fisikokimia pepaya

california hasil pemeraman dengan menggunakan daun lamtoro (*Leucaena Leucocephala*). *Jurnal Teknotan*, 16(2), 103–108. <https://doi.org/10.24198/jt.vol16n2.6>

- Arif, A. B., Budiyanto, A., Setiawan, Cahyono, T., Sulistiyani, T. R., Marwati, T., Widayanti, S. M., Setyadjit, Manalu, L. P., Adinegoro, H., Yustiningsih, N., Hadipernata, M., Jamal, I. B., Susetyo, I. B., Herawati, H., Iswari, K., & Risfaheri. (2024). Application of red and blue LED light on cultivation and postharvest of Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientifica*, 2024(1), 1–14. <https://doi.org/10.1155/2024/3815651>
- Arifiya, N., Purwanto, Y. A., & Budiastira, I. W. (2015). Analisis perubahan kualitas pascapanen pepaya varietas IPB9 pada umur petik yang berbeda. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 3(1), 41–48.
- Arslan, T., Kasım, R., & Kasım, M. U. (2021). Blue LED lighting improves the postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Zahide F1) fruits. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 58(4), 489–502. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.893641>
- Arti, I. M., & Manurung, A. N. H. (2018). Pengaruh etilen apel dan daun mangga pada pematangan buah pisang kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). *Jurnal Pertanian Presisi*, 2(2), 77–88.
- Ashadi, R., Syam, N., & Alimuddin, S. (2022). Pengaruh suhu dan jenis kemasan terhadap daya simpan dan kualitas buah tomat (*Solanum Lycopersicum* L.). *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Ilmu Pertanian*, 2(3), 19–28. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v2i3.209>
- Atmaca, S., Yolcu, H. İ., Erdoğan, G., Gübbük, H., & Sert, H. (2024). Comparison of the morphological characteristics, yield, and quality traits of fruits of two papaya cultivars grown under protected cultivation.

- Horticulturae*, 10(11), 1-12.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae1011192>
- Ballester, A. R., & Lafuente, M. T. (2017). LED blue light-induced changes in phenolics and ethylene in citrus fruit: Implication in elicited resistance against *Penicillium digitatum* infection. *Food Chemistry*, 218, 575–583.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.089>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Indonesia 2024*. Badan Pusat Statistik.
- Budiono, B., Khoirunnisa, N. F., & Faylina, S. V. (2019). Perbedaan perubahan warna permukaan resin komposit nanohybrid pasca perendaman dalam cuko pempek (saus manis dan asam) dan jamu kunyit asam (*Curcuma domestica* Val–*Tamarindus indica*). *Stomatognatic Jurnal Kedokteran Gigi*, 16(2), 49-52.  
<https://doi.org/10.19184/stoma.v16i2.23091>
- Cahyany, A. E., Fadhillah, N., Oktaviana, P., & Yuhanna, W. L. (2021). *Pemberdayaan Masyarakat Melalui Pengolahan Pepaya California*. UNIPMA Press.
- Casati, C. B., Sánchez, V., Baeza, R., Magnani, N., Evelson, P., & Zamora, M. C. (2012). Relationships between colour parameters, phenolic content and sensory changes of processed blueberry, elder berry and blackcurrant commercial juices. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(8), 1728–1736.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03027.x>
- Chukwuka, K. S., Iwuagwu, M., & Uka, U. N. (2013). Evaluation of nutritional components of *Carica papaya* L. at different stages of ripening. *Journal of Pharmaceutical and Biosciences*, 6(4), 13–16.  
<https://doi.org/10.9790/3008-0641316>
- Costa, L., Montano, Y. M., Carrion, C., Rolny, N., & Guiamet, J. J. (2013). Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 181–191.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.017>
- Costanzo, G., Vitale, E., Iesce, M. R., Spinelli, M., Fontanarosa, C., Paradiso, R., & Arena, C. (2023). Modulation of antioxidant compounds in fruits of *Citrus reticulata* Blanco using postharvest LED irradiation. *Biology*, 12(7), 1–16.  
<https://doi.org/10.3390/biology12071029>
- Darmawati, E., Sutrisno, K., & Tawakal, M. I. (2018). Perlakuan pematangan buatan pada pepaya (*Carica papaya* L.) varietas IPB 9 untuk perbaikan sistem distribusi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(2), 101–111.  
<https://doi.org/10.18343/jipi.23.2.101>
- Dhokal, R., & Baek, K. H. (2014). Metabolic alternation in the accumulation of free amino acids and  $\gamma$ -aminobutyric acid in postharvest mature green tomatoes following irradiation with blue light. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(1), 36–41.  
<https://doi.org/10.1007/s13580-014-0125-3>
- Directorate Agricultural Information Services, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries. (2009). *Cultivating papayas*. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries.
- Fauziah, I. A. N., Zackiyah, & Sholihin, H. (2021). Pengaruh penggunaan 1-metilsiklopropena terhadap kualitas buah klimakterik pascapanen. *Chemistry Isola*, 1(2), 49–57.
- Febjislami, S., Suketi, K., & Yunianti, R. (2018). Karakterisasi morfologi bunga, buah, dan kualitas buah tiga genotipe pepaya hibrida. *Buletin Agrohorti*, 6(1), 112–119.  
<https://doi.org/10.29244/agrob.v6i1.17488>
- Gong, D., Cao, S., Sheng, T., Shao, J., Song, C., & Wo, F. (2015). Effect of blue light on ethylene biosynthesis, signalling and fruit ripening in postharvest peaches. *Scientia Horticulturae*, 197, 657–664.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.034>
- Hafsah, S., & Firdaus. (2022). Karakterisasi dan korelasi karakter agronomi beberapa genotype pepaya (*Carica papaya* L.) hasil persilangan. *Jurnal Agrium*, 19(2), 100–108.  
<https://doi.org/10.29103/agrium.v19i2.7812>
- Hasan, F. H., Tajidin, N. E., Ahmad, S. H., Mohamed, M. T. M., & Shukor, N. I. A. (2018). Ripening characteristics of vapour heat treated ‘Frangi’ papaya (*Carica papaya* L. cv. Frangi) as affected by maturity stages and ethylene treatment. *Bragantia*, 77(2), 372–384.  
<https://doi.org/10.1590/1678-4499.105>
- Ismaya, P. L., Faturochman, H. Y., Darmawati, E., & Setyadjit. (2023). Perubahan mutu buah pepaya varietas IPB 9 (Calina) selama penyimpanan pasca simulasi transportasi. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 18(2), 39–46.  
<https://doi.org/10.26623/jtphp.v18i2.7746>
- Junaidin, Arif, & Gufran. (2017). Pemanfaatan tanah perkebunan sebagai bentuk budidaya tanaman pepaya california di Desa Malaka Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara. *International Journal of Natural*

- Science and Engineering*, 1(1), 8–15. <https://doi.org/10.23887/ijnse.v1i1.12435>
- Kesuma, A. A., & Silvia, D. (2023). Karakteristik ethylene scavenger dalam perubahan susut bobot, kadar air, total padatan terlarut, dan pH pada pisang ambon. *Metana*, 19(2), 100–110. <https://doi.org/10.14710/metana.v19i2.58369>
- Kumar, V., Singh, J., Chandra, S., Kumar, R., Sunil, Singh, K., Chaundhary, V., & Kumar, P. (2019). Post harvest technology of papaya fruits and its value-added products: A review. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 7(2), 169–181. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.7363>
- Larasati, F., & Wardiyati, T. (2019). Pengaruh jenis bahan pembungkus terhadap mutu buah mangga (*Mangifera indica* L.) varietas Arumanis 143. *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(10), 1854–1862.
- Lestari, R., & Darmayanti, S. (2021). Analisa kualitatif dan kuantitatif vitamin C pada buah pepaya dengan metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Proteksi Kesehatan*, 10(1), 62–68. <https://doi.org/10.36929/jpk.v10i1.361>
- Meiramkulova, K., Devrishov, D., Adylbek, Z., Kydyrbekova, A., Zhangazin, S., Ualiyeva, R., Temirbekova, A., Adilbektegi, G., & Mkilima, T. (2023). The impact of various LED light spectra on tomato preservation. *Sustainability*, 15(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su15021111>
- Martínez-Zamora, L., Castillejo, N., & Artés-Hernández, F. (2023). Effect of postharvest visible spectrum LED lighting on quality and bioactive compounds of tomatoes during shelf life. *LWT*, 174, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114420>
- Mishra, A., Sudhakar, A., Nichkil, C., & Jithender, B. (2019). Applications of light emitting diodes for post-harvest quality management of fruits and vegetables. *Agriculture and Food E-Newsletter*, 1(7), 404–408.
- Mubarok, S. Y., Okabe, N., Fukuda, T., Ariizumi, T. H., & Ezura. (2015). Potential use of a weak ethylene receptor mutant, Sle1r1-2, as breeding material to extend fruit shelf life of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(36). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02742>
- Mudyantini, W., Santosa, S., Dewi, K., & Bintoro, N. (2017). Pengaruh pelapisan kitosan dan suhu penyimpanan terhadap karakter fisik buah sawo (*Manilkara achras* (Mill.) Fosberg) selama pematangan. *Agritech*, 37(3), 343–351. <https://doi.org/10.22146/agritech.17177>
- Muhammad, R. Z., Prihastanti, E., & Budihastuti, R. (2021). Pengaruh wadah dan suhu penyimpanan yang berbeda terhadap kematangan buah sawo (*Manilkara zapota* L.). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 6(1), 42–48. <https://doi.org/10.14710/baf.6.1.2021.42-48>
- Naibaho, B., Simanungkalit, F. J., & Nadapdap, E. Y. (2025). Pengaruh tingkat kematangan dan lama penyimpanan terhadap karakteristik mutu fisik buah lemon lokal (*Citrus x Limon*) pada kondisi penyimpanan ruang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 25(1), 45–55. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v25i1.5628>
- Nassarawa, S. S., Abdelshafy, A. M., Xu, Y., Li, L., & Luo, Z. (2021). Effect of light-emitting diodes (LEDs) on the quality of fruits and vegetables during postharvest period: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 14(1), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02534-6>
- Naway, F. S., Engelen, A., & Amirudin. (2023). Minuman fungsional pepaya super Thailand (*Carica papaya* L.) dengan penambahan santan kelapa dan gula aren. *Jambura Journal of Food Technology*, 5(1), 45–54. <https://doi.org/10.37905/jjft.v5i01.20094>
- Noor, W. N. H. W. M., Sembok, W. Z. W., & Abdullah, W. Z. W. (2021). The effects of light-emitting diodes (LED) irradiation treatments on the postharvest preservation and microbiological quality of strawberry (*Fragaria ananassai*) cv 'Festival'. *Journal of Undergraduate Research*, 3(4), 137–148.
- Novanda, R. R., Sutrawati, M., & Ganefianti, D. W. (2021). Analysis of the risk of profit loss in papaya farming affected by yellow mosaic disease. *Journal La Lifesci*, 2(3), 1–7. <https://doi.org/10.37899/journallifesci.v2i3.362>
- Pham, T. T., Nguyen, T. N. H., Le, N. T., Dang, B. T., & Nguyen, B. Q. H. (2023). Post-harvest preservation of green grapes utilizing 405 nm light emitting diode. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100463>
- 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. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00086-0>
- Pradana, A. K., Slamet, A. S., & Andrianto, M. S. (2018). Analisis faktor yang mempengaruhi

- pengambilan keputusan pembelian pepaya Calina. *Jurnal Manajemen*, 9(2), 155-170. <https://doi.org/10.32832/jm-uika.v9i2.1562>
- Premarathne, R. M. D. E., Marapana, R. A. U. J., & Perera, P. R. D. (2021). Determination of physiochemical characteristics and antioxidant properties of selected climacteric and non-climacteric fruits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(3), 23–28. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i3a.14048>
- Prihatiningtyas, R., & Wijaya, N. H. (2015). Analisis peningkatan kualitas pada rantai pasok buah pepaya Calina. *Jurnal Manajemen Organisasi*, 6(3), 206–224. <https://doi.org/10.29244/jmo.v6i3.12609>
- Rahayu, D., Bintoro, N., & Saputro, A. D. (2021). Pemodelan laju respirasi buah klimakterik selama penyimpanan pada suhu yang bervariasi. *Agrointek*, 15(1), 80–91.
- Rahmawati, L. A. (2015). Analisis usaha tani pepaya varietas California (*Carica papaya* L.). *Jurnal Agribisnis dan Pertanian Berkelanjutan*, 1(2), 1–8.
- Rizki, D. P., Suketi, K., & Widodo, W. D. (2018). Peningkatan produktivitas lahan pertanaman pepaya Sukma dengan tanaman sela beberapa jenis sayuran. *Buletin Agrohorti*, 6(1), 10–20. <https://doi.org/10.29244/agrob.v6i1.16819>
- Rodriguez, G. M., Sibaja, J. C., Espitia, P. J. P., & Otoni, C. G. (2020). Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with *Moringa oleifera* and ascorbic acid for food preservation. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105630. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105630>
- Rodyoung, A., Masuda, Y., Tomiyama, H., Saito, T., Okawa, K., Ohara, H., & Kondo, S. (2016). Effects of light-emitting diode irradiation at night on abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grapes in different growing seasons. *Plant Growth Regulation*, 79(1), 39–46. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0107-1>
- Saran, P. L., Solanki, I. S., & Choudhary, R. (2016). *Papaya: Biology, cultivation, production, and uses*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18955>
- Shufyani, F., & Sinurat, J. P. (2022). Penentuan kadar vitamin C dalam buah pepaya dan uji antioksidan terhadap vitamin C buah pepaya (*Carica papaya* L.). *Jurnal Dunia Farmasi*, 6(2), 66–75. <https://doi.org/10.33085/jdf.v6i2.5144>
- Simatupang, J. W., Santoso, F. H., Afristanto, S. D., Bramasto, R., & Maheli, H. B. (2021). Lampu LED sebagai pilihan yang lebih efisien untuk lampu utama sepeda motor. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 6(1), 20–26. <https://doi.org/10.52447/jkte.v6i1.4434>
- Suketi, K., Poerwanto, R., Sujiprihati, S., Sobir, & Widodo, W. D. (2010). Karakteristik fisik dan kimia buah pepaya pada stadia kematangan berbeda. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 38(1), 60–66.
- Taris, M. L., Widodo, W. D., & Suketi, K. (2015). Kriteria kemasakan buah pepaya (*Carica papaya* L.) IPB Calina dari beberapa umur panen. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 6(3), 172–176. <https://doi.org/10.29244/jhi.6.3.172-176>
- Triardianto, D., Adhamatika, A., & Sucipto, A. (2022). Pengaruh suhu terhadap parameter fisik pisang kepok (*Musa acuminata*) selama penyimpanan. *Agrosaintifika*, 5(1), 11–16. <https://doi.org/10.32764/agrosaintifika.v5i1.3160>
- Tucker, G., Yin, X., Zhang, A., Wang, M., Zhu, Q., Liu, X., Xie, X., Chen, K., & Grierson, D. (2017). Ethylene and fruit softening. *Food Quality and Safety*, 1(4), 253–267. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx024>
- Wekti, C. W. K., & Khanifa, F. (2019). Kadar vitamin C pada buah pisang Raja (*Musa paradisiaca* L.) sebelum dan sesudah penambahan kalsium karbida (CaC<sub>2</sub>). *Jurnal Insan Cendekia*, 6(1), 13–17.
- Yan, Z., Zuo, J., Zhou, F., Shi, J., Xu, D., Hu, W., Jiang, A., Liu, Y., & Wang, Q. (2020). Integrated analysis of transcriptomic and metabolomic data reveals the mechanism by which LED light irradiation extends the postharvest quality of pak-choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Makino var. *communis* Tsen et Lee). *Biomolecules*, 10(2), 252. <https://doi.org/10.3390/biom10020252>
- Zhou, Z., Ford, R., Bar, I., & Kanchana-Udomkan, C. (2021). Papaya (*Carica papaya* L.) flavour profiling. *Genes*, 12(9), 1339. <https://doi.org/10.3390/genes12091416>