

Pengaruh Hot Water Treatment Terhadap Kualitas Fisik Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) Selama Penyimpanan Suhu Dingin

Effect of Hot Water Treatment on the Physical Quality of Green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) During Cold Storage.

I Made Andika Yasa Pramana, Gede Arda*, Sumiyati

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

*email: gedearda@unud.ac.id

ABSTRAK

Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) merupakan salah satu jenis tanaman polong-polongan yang cenderung cepat mengalami kerusakan selama masa penyimpanan, baik pada suhu ruang maupun suhu rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *hot water treatment* (HWT) terhadap kualitas fisik buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) selama penyimpanan dingin pada suhu 5°C. Perlakuan HWT dilakukan dengan teknik *hot water dipping* (HWD), menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama yaitu suhu perendaman dan faktor kedua yaitu waktu perendaman. Faktor pertama terdiri dari suhu 40°C, 50°C, dan 60°C. Faktor kedua terdiri dari waktu 1, 3, dan 5 menit, serta satu kontrol tanpa perlakuan. Parameter yang diamati meliputi susut bobot, kadar air, tekstur, perubahan warna (CIE a*), dan intensitas kerusakan dengan lama penyimpanan 23 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu air cenderung mempercepat kerusakan buncis selama penyimpanan. Namun kombinasi dengan waktu perendaman menunjukkan bahwa suhu 40°C selama 3 menit memberikan hasil terbaik dalam mempertahankan mutu buncis, dengan susut bobot mencapai 5,6%, tekstur dan warna yang relatif stabil, serta intensitas kerusakan terendah (16%). Sebaliknya, perlakuan suhu tinggi (60°C) mempercepat kerusakan fisik dan degradasi mutu. Dengan demikian, HWT pada suhu 40°C selama 3 menit dapat direkomendasikan sebagai penanganan pascapanen yang efektif untuk menjaga kualitas buncis selama penyimpanan dingin.

Kata kunci: Buncis, penanganan air panas, teknik HWD, intensitas kerusakan.

ABSTRACT

Green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are a type of legume that tends to deteriorate quickly during storage, both at room temperature and low temperatures. This study aims to determine the effect of hot water treatment (HWT) on the physical quality of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during cold storage at 5°C. The HWT treatment was carried out using the hot water dipping (HWD) technique, using a Factorial Completely Randomized Design with two treatment factors. The first factor is the immersion temperature and the second factor is the immersion time. The first factor consists of temperatures of 40°C, 50°C, and 60°C. The second factor consists of times of 1, 3, and 5 minutes, as well as one control without treatment. The parameters observed included weight loss, water content, texture, color change (CIE a*), and damage intensity, all of which were measured over a 23-day storage period. The results showed that increasing water temperature tends to accelerate the deterioration of green beans during storage. However, the combination of soaking time showed that a temperature of 40°C for 3 minutes provided the best results in maintaining the quality of green beans, with a weight loss of 5.6%, relatively stable texture and color, and the lowest damage intensity (16%). Conversely, high temperature treatment (60°C) accelerated physical damage and quality degradation. Thus, HWT at 40°C for 3 minutes can be recommended as an effective post-harvest treatment to maintain the quality of green beans during cold storage.

Keywords: Green beans, hot water treatment, HWD technique, cold storage, damage intensity.

PENDAHULUAN

Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) adalah salah satu varietas sayuran tropis yang sering dijumpai di Indonesia. Sayuran ini termasuk ke dalam kategori sayuran non-klimakterik dan sangat disukai sebagai bahan makanan (Putranto, 2020). Menurut Wulandari, (2011), buncis bukanlah sayuran musiman sehingga dapat ditemukan sepanjang tahun. Umur simpan buncis sendiri berkisar antara 7 hingga 10 hari apabila disimpan pada suhu ruang, dan pada suhu rendah 5°C buncis dapat dipertahankan hingga 31 hari dengan menggunakan kemasan *Styrofoam* dengan plastik film (Dhani, 2008; Khairunnisa & Putra, 2023). Buncis yang terlalu tua cenderung lebih cepat layu dan berubah warna menjadi kuning. Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh buncis adalah kerusakan yang cepat setelah proses panen, terutama jika berada di lingkungan yang tidak mendukung (Pranata et al., 2022). Pemanenan yang tidak dilakukan dengan baik dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada buncis. Namun, selama proses penyimpanan, buncis mudah mengalami kerusakan baik pada suhu ruang maupun suhu dingin (Khairunnisa & Putra, 2023). Dengan adanya buncis segar dalam kemasan, konsumen akan lebih terbantu dalam mendapatkan produk yang lebih tahan lama dan praktis (Putranto, 2020).

Dalam pengolahan pascapanen, perlakuan panas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kandungan bioaktif dan nilai nutrisi. Cascais et al., (2021) menyatakan bahwa salah satu tujuan utama dari perlakuan panas adalah untuk memperpanjang umur simpan bahan pangan dengan mengurangi kadar air, serta meningkatkan keamanan pangan dengan mengurangi risiko kontaminasi mikroba. Salah satu yang termasuk perlakuan panas yaitu *Hot Water Treatment* (HWT), yang dimana perlakuan menggunakan air panas pada suhu di atas 40°C. Teknik ini dilakukan melalui metode seperti perendaman air panas (*hot water dipping*), uap air panas, atau pembilasan air panas (*hot water rinse*) (Mahajan et al., 2014).

HWT sangat cocok untuk digunakan pada komoditas organik karena tidak menggunakan bahan kimia. Umumnya, HWT efektif dalam mengatasi penyakit pascapanen apabila diterapkan pada suhu 45 - 60°C selama beberapa detik hingga 20 menit, bergantung pada jenis komoditas dan patogen yang dihadapi (Usall et al., 2016). Sebagai contoh, ketika menggunakan HWT dalam situasi karantina, proses pemanasan untuk komoditas harus dilakukan lebih lama (misalnya, pada mangga, suhu 43 - 49°C selama 1-2 jam, sedangkan pada ceri, suhu 50° C selama 10

menit) untuk mengendalikan pembusukan (Usall et al., 2016).

Akan tetapi buncis sangat rentan mengalami kerusakan jika buncis dalam keadaan lembab. Kelembaban pada saat pencucian dan tidak dikeringkan dapat mendorong pertumbuhan jamur dan mikroorganisme lainnya. Aktivitas mikroorganisme mempercepat proses pembusukan serta menurunkan kualitas buncis selama penyimpanan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan HWT pada buncis, dengan menggunakan teknik *hot water dipping* (HWD) dan penyimpanan pada suhu 5±1°C. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan suhu dan waktu perlakuan terbaik untuk buncis.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pascapanen, Gedung Agrokomplek Lantai III, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana pada bulan Februari 2025 sampai dengan Maret 2025.

Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah keranjang plastik, kertas tisu, mortar, timbangan analitik (AND GF-300, Jepang), digital *thermometer*, alat uji mekanik *Texture Analyzer* (TA.XTplus, Inggris) berdasarkan ASTM D638 (*American Standar for Testing and Materials*), *waterbath* (Lab Line model 18102-ICE), kotak sinar UV-C (ATN 15W), *showcase* (GEA) , oven (Labo model DO 255). Aplikasi yang digunakan untuk mencari parameter warna adalah *colorimeter*.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buncis sebanyak 6 kg, plastik PE ziplock ukuran 16×25 cm, akuades sebanyak 10 liter, *alcohol spray* 70%.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 2 faktor, faktor pertama yaitu suhu perendaman dan faktor kedua yaitu waktu perendaman. Rancangan percobaan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

P0 = Perlakuan kontrol (tanpa direndam air panas)

P40T1 = Perlakuan suhu 40±1°C dengan waktu 1 menit

P40T3 = Perlakuan suhu 40±1°C dengan waktu 3 menit

P40T5 = Perlakuan suhu 40±1°C dengan waktu 5 menit

P50T1 = Perlakuan suhu 50±1°C dengan waktu 1 menit

P50T3 = Perlakuan suhu 50±1°C dengan waktu 3 menit

P50T5 = Perlakuan suhu 50±1°C dengan waktu 5 menit

P60T1 = Perlakuan suhu $60\pm 1^\circ\text{C}$ dengan waktu 1 menit
P60T3 = Perlakuan suhu $60\pm 1^\circ\text{C}$ dengan waktu 3 menit
P60T5 = Perlakuan suhu $60\pm 1^\circ\text{C}$ dengan waktu 5 menit

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan perlakuan metode hot water treatment (HWT), dengan salah satu teknik dari HWT tersebut adalah how water dipping (HWD). Dimulai dari proses persiapan sampel, persiapan ruang penirisan, perendaman air panas, pengujian sesuai parameter yang diuji, dan analisis data.

Proses Persiapan Sampel

Sampel buncis segar dipanen pada 25 Februari 2025 di Bedugul, Tabanan, Bali, lalu dibawa ke Laboratorium Teknik Pascapanen FTP Universitas Udayana (2 jam perjalanan). Sesampainya di laboratorium, buncis didinginkan dalam showcase bersuhu $5\pm 1^\circ\text{C}$ selama 30 menit untuk menjaga kesegaran. Selanjutnya, dilakukan seleksi dan pembagian sampel: sembilan bagian masing-masing $100\pm 1\text{g}$ untuk susut bobot, dua buncis untuk setiap uji tekstur, dan tiga buncis per ulangan untuk uji warna. Kemudian buncis diikat dengan tali agar tidak menyebar di dalam *waterbath*.

Persiapan Ruang Penirisan

Proses penirisan dilakukan di dalam kotak yang telah dilengkapi dengan lampu UV-C 15W. Barang-barang seperti keranjang, tisu, plastik PE, dan lainnya dimasukkan ke dalam kotak, lalu disemprot dengan alkohol 70% untuk menjaga kebersihan. Setelah itu, lampu UV-C dinyalakan selama sekitar 1 jam untuk mensterilkan ruang penirisan dan peralatan yang akan digunakan.

Perendaman Air Panas

Perendaman dilakukan dengan merendam buncis ke dalam *waterbath* berisi 10 liter air distilasi pada suhu 40°C , 50°C , dan 60°C selama 1, 3, dan 5 menit. *Waterbath* dilengkapi tiga termometer yang terletak di kanan, kiri, tengah dan termostat pengatur suhu. Setelah perendaman, sampel diangkat, tali dilepas, dan dikeringkan di keranjang plastik berlapis tisu di dalam ruang penirisan tanpa sinar UV-C selama 15 menit. Selanjutnya, buncis dikemas dengan plastik PE dan dibagi menjadi tiga ulangan. Sampel untuk uji tekstur dan warna dikemas terpisah. Kemudian disimpan pada *showcase* dengan suhu $5\pm 1^\circ\text{C}$.

Analisis Data

Analisis sidik ragam (ANOVA) digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu HWT terhadap buncis. Uji post-hoc Tukey dilakukan pada susut bobot, tekstur, dan warna, sedangkan uji

Independent-Sample t-test digunakan untuk kadar air. Analisis dilakukan dengan IBM SPSS Statistics 26.

Parameter Yang Diamati

Susut Bobot

Rumus yang digunakan untuk mengukur susut bobot berdasarkan pada metode gravimetrik (AOAC, 2005) menggunakan timbangan analitik (AND GF-300, Jepang) adalah sebagai berikut (Mutirani et al., 2023):

$$\text{susut bobot (g)} = \frac{bo - bi}{bo} \times 100\% \quad [1]$$

Dimana *bo* dan *bi* masing-masing adalah bobot awal penyimpanan (g) dan bobot bahan pada penyimpanan hari ke- *i* (g).

Kadar Air

Pengukuran kadar air berbasis basah dilakukan dengan menimbang buncis yang telah dihaluskan sebanyak kurang lebih 2gram kemudian dimasukkan ke dalam cawan dan dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam hingga berat konstan. Kadar air dihitung dengan cara membandingkan jumlah air yang menguap dan berat sampel awal. Kadar air ditentukan sebagai berikut (Mutirani et al., 2023):

$$KA_{bb}(\%) = \frac{(ms1 - ms) - (ms2 - ms)}{ms1 - ms} \times 100\% \quad [2]$$

Dimana *ms* adalah berat cawan (g), *ms1* dan *ms2* adalah berat sampel awal atau sebelum dikeringkan (g) dan berat sampel akhir atau sesudah dikeringkan (g).

Tekstur

Tekstur buncis diamati setiap 3 hari sekali selama 23 hari penyimpanan. Pengujian dilakukan dengan *Puncture test* dimana probe silinder dengan diameter 6 mm (P6) menekan buncis hingga mencapai kedalaman tertentu, untuk mengukur kekerasan buncis (Lupu et al., 2022). Pengujian menggunakan alat Texture Analyzer TA.XT Plus (*micro stable*, England) menggunakan software Texture Exponent 32. Dua buncis seragam dipilih setiap uji, lalu tiap ruas polong ditekan dengan kecepatan uji (*test-speed*) 2 mm/s dan jarak tekan (*distance*) 8 mm.

Warna

Warna buncis diamati setiap 3 hari sekali selama masa penyimpanan 23 hari. Pengujian warna menggunakan aplikasi *colorimeter* (*Lab Tools*) pada *smartphone*. Pengukuran warna ini diawali dengan memilah buncis yang warnanya tampak terlihat cerah sebanyak 3 butir. Warna buncis di tentukan menggunakan parameter *L**, *a**, dan *b**. Keterangan skor parameter (Baldassi et al., 2024; Ghanghas et al., 2022):

L (lightness) = 0 (hitam) - 100 (putih)

a = 0 sampai +127 untuk merah, 0 sampai -128 untuk hijau

b = 0 sampai +127 untuk kuning, 0 sampai -128 untuk biru

Untuk mengetahui perubahan warna selama penyimpanan, parameter warna L^* , a^* , dan b^* dikonversi menjadi kode HEX dengan pemrograman python (kode program disajikan dalam Lampiran 1).

Intensitas Kerusakan

HWT yang terlalu lama atau pada suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan fisik pada kacang, seperti daging buncis menjadi rapuh dan pematangan daging buncis. Menurut (Rumahlewang et al., 2022) menjelaskan mengenai perhitungan intensitas kerusakan secara visual hitung dengan menggunakan rumus (Sugiharso, 1980):

$$IK = \frac{\sum(n \times v)}{Z \times N} \times 100\% \quad [3]$$

Dimana IK adalah intensitas kerusakan (%), n adalah jumlah sampel pada tiap katagori kerusakan, v adalah nilai skala kategori kerusakan sampel, Z adalah nilai skala dari kategori kerusakan tertinggi, N adalah banyaknya sampel buncis yang dipakai.

Tabel 1. Penentuan kategori kerusakan buncis

Skala	Persentase Kerusakan (%)	Kategori
0	0	Normal
1	$0 < x \leq 25$	Ringan
2	$25 < x \leq 50$	Sedang
3	$50 < x \leq 75$	Berat
4	> 75	Sangat berat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Susut Bobot

Parameter susut bobot dapat dilihat dari kenaikan bobot buncis dari hari ke hari pengamatan selama 23 hari penyimpanan. Hasil analisis terhadap parameter susut bobot menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan waktu perendaman HWT berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap tingkat kehilangan bobot buncis selama penyimpanan dingin.

Pada Gambar 1 terlihat perlakuan kontrol menunjukkan nilai susut bobot lebih tinggi mencapai 10% dibanding perlakuan HWT pada suhu 40°C (7%) pada hari ke-23. Perlakuan 1 menit (P40T1) menunjukkan peningkatan signifikan sejak hari ke-17, sedangkan perlakuan 3 dan 5 menit (P40T3 dan P40T5) lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa durasi perendaman lebih lama pada suhu 40°C dapat menekan susut bobot secara lebih baik, diduga karena

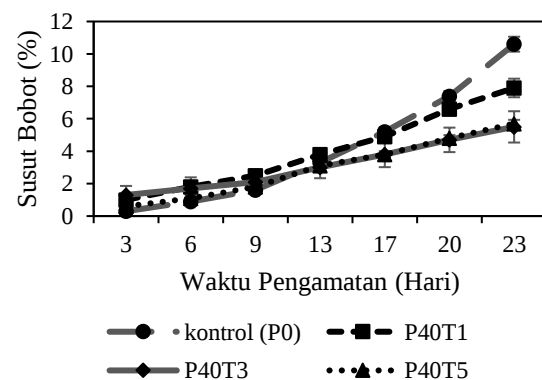
efek suhu terhadap struktur dinding sel buncis (Mutirani et al., 2023).

Terlihat pada Gambar 2, semua perlakuan suhu 50°C mengalami kenaikan susut bobot dengan rata-rata 9%, dimana lebih tinggi dari suhu 40°C namun tetap lebih rendah dari kontrol. Perlakuan suhu 50°C pada waktu 1 (P50T1) dan 3 menit (P50T3) menunjukkan kestabilan lebih baik dibandingkan waktu 5 menit (P50T5), meskipun perbedaan tidak signifikan. Sementara itu, pada suhu 60°C, seluruh perlakuan justru meningkatkan susut bobot, bahkan lebih tinggi dari kontrol sebesar 13% dilihat pada Gambar 3. Hal ini diduga karena suhu tinggi mempercepat penguapan air dan merusak jaringan, sehingga mempercepat kehilangan bobotnya (Pranata et al., 2022; Proulx et al., 2010).

Pada Tabel 2, perbedaan notasi pada nilai susut bobot menunjukkan perbedaan statistik antar perlakuan. Pada suhu 40°C tergolong rendah, menandakan bahwa pemanasan ringan selama 1–5 menit belum memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan susut bobot. Sebaliknya, pada suhu 50°C mulai terlihat berbeda nyata terhadap kontrol pada hari ke-17 hingga ke-23 tidak berbeda signifikan akibat kontrol mulai rusak. Di suhu 60°C, perbedaan semakin jelas dengan nilai susut bobot yang tinggi dapat mempercepat kehilangan bobot akibat peningkatan penguapan dan kerusakan jaringan.

Tekstur

Hasil analisis perlakuan suhu dan waktu perendaman HWT memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0.05$) terhadap perubahan tekstur buncis selama penyimpanan. Secara umum, perlakuan suhu dan waktu pemanasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai tingkat kekerasannya, diindikasikan oleh berkurangnya nilai *force* (gaya tekan) yang dibutuhkan untuk menekan sampel.

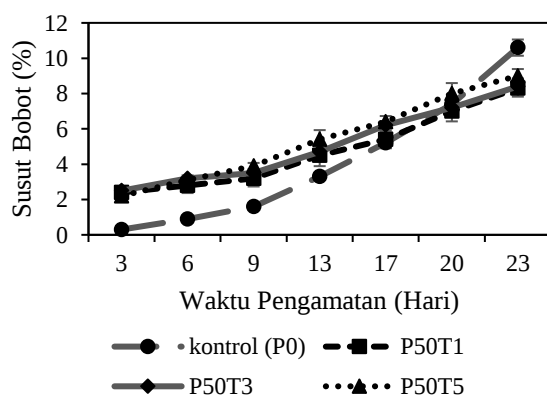


Gambar 1. Pengaruh susut bobot pada suhu 40°C

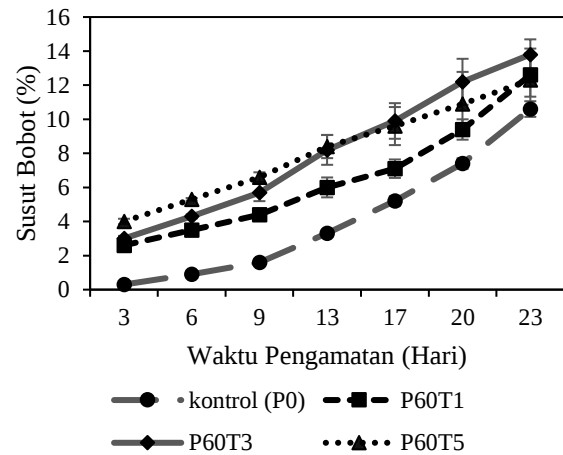
Penurunan nilai tekstur pada kontrol (P0) sejak pengamatan pertama ($299,5 \pm 5N$) hingga kedua ($131,7 \pm 1N$) menunjukkan kerusakan jaringan alami akibat aktivitas enzim. Pada Gambar 5, perlakuan suhu $40^{\circ}C$ rata-rata nilai gaya tekannya $77,2 \pm 10N$, ini menandakan tingkat kekerasan diatas nilai $50N$, yang dimana struktur sampel buncis masih utuh. Namun demikian, pada durasi 5 menit (P40T3), terlihat penurunan nilai gaya tekan (*force*) yang lebih signifikan, hal ini mengindikasikan bahwa durasi pemanasan memengaruhi pelunakan, meskipun suhu tergolong rendah, akibat kehilangan kelembapan internal dan kerusakan struktur jaringan (Jayasundara et al., 2025).

Perlakuan suhu $50^{\circ}C$ menunjukkan penurunan tingkat kekerasan buncis lebih rendah dibandingkan $40^{\circ}C$. Terlihat pada Gambar 6, dimana rata-rata nilai *force* dari perlakuan suhu $50^{\circ}C$ mencapai sekitar $50,8 \pm 8N$ dibandingkan dengan suhu $40^{\circ}C$ bisa mencapai hingga $77,2 \pm 10N$, dengan nilai kekerasan lebih rendah namun masih dapat mempertahankan sebagian struktur. Perlakuan $50^{\circ}C$ waktu 1 menit (P50T1) menunjukkan kekerasan tertinggi di antara perlakuan suhu $50^{\circ}C$, sedangkan waktu 3 menit (P50T3) dan 5 menit (P50T5) mengalami penurunan lebih lanjut. Hal ini menunjukkan adanya sedikit perubahan masih terjadi selama penyimpanan. Respon ini mungkin terjadi karena beberapa faktor, seperti inang tanaman, metode perlakuan, waktu dan suhu pemanasan (Hong et al., 2007).

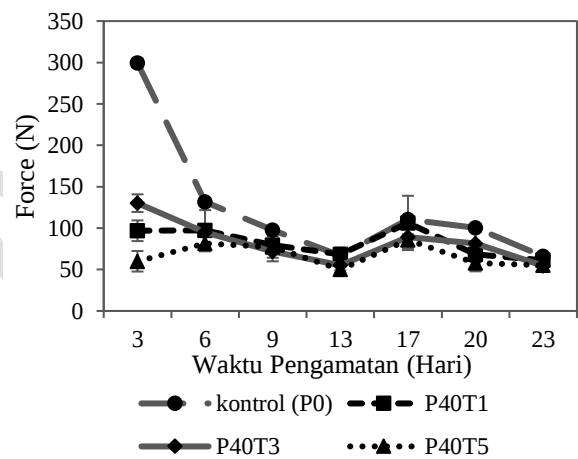
Sementara itu pada Gambar 7, suhu $60^{\circ}C$ menyebabkan kerusakan tekstur paling parah sekitar $35,9 \pm 5N$, dengan nilai *force* akhir terendah $25,2 \pm 2N$ yang cenderung tetap rendah selama penyimpanan terlihat pada Tabel 3. Diasumsikan bahwa HWT dengan suhu tinggi dapat meningkatkan aktivitas enzim penurunan pektin dan menyebabkan pembongkaran dinding sel dan, kemudian hilangnya kekencangan buah dan akhirnya terjadi pelunakan (Jayasundara et al., 2025).



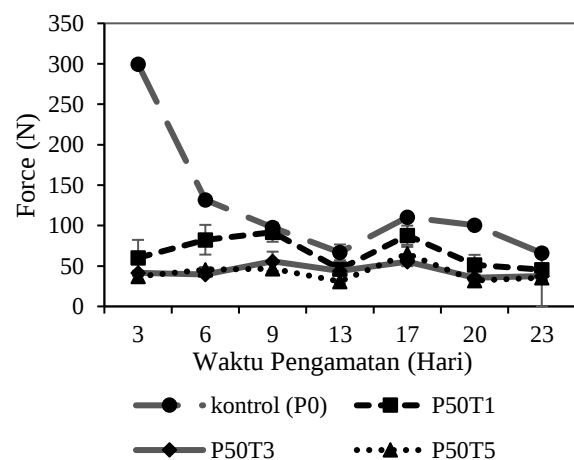
Gambar 2. Pengaruh susut bobot pada suhu $50^{\circ}C$



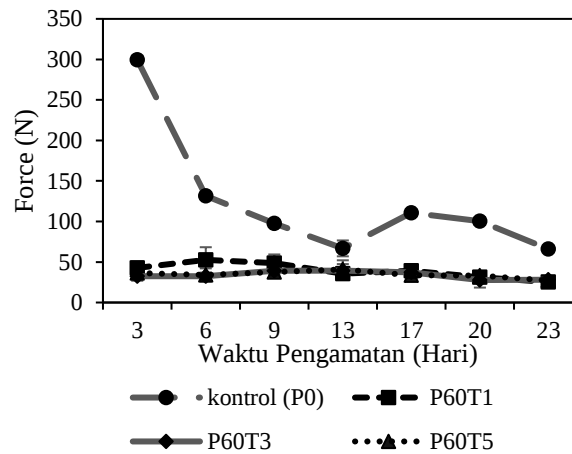
Gambar 3. Pengaruh susut bobot pada suhu $60^{\circ}C$



Gambar 4. Tingkat kekerasan (N) suhu $40^{\circ}C$



Gambar 5. Tingkat kekerasan (N) suhu $50^{\circ}C$



Gambar 6. Tingkat kekerasan (N) suhu 60°C

Tabel 2. Hasil uji Tukey Honest Significant Difference (HSD) terhadap susut bobot (%)

Perlakuan	Waktu Pengamatan (Hari)						
	3	6	9	13	17	20	23
P0	0,3±0,04 a	0,9±0,2 a	1,6±0,1 a	3,3±0,2 a	5,2±0,3 ab	7,4±0,3 ab	10,6±0,5 ab
P40T1	1,0±0,1 ab	1,8±0,2 ab	2,5±0,1 ab	3,8±0,4 ab	4,9±0,4 ab	6,6±0,3 ab	7,9±0,6 a
P40T3	1,3±0,1 ab	1,7±0,2 ab	2,1±0,2 a	3,0±0,1 a	3,8±0,2 a	4,7±0,2 a	5,6±0,2 a
P40T5	0,6±0,6 a	1,1±0,7 ab	1,8±0,7 a	3,1±0,7 a	3,8±0,8 a	4,8±0,8 a	5,7±1,0 a
P50T1	2,4±0,3 b	2,8±0,4 b	3,2±0,5 b	4,5±0,6 b	5,4±0,5 ab	7,0±0,6 ab	8,3±0,5 ab
P50T3	2,5±0,1 bc	3,2±0,2 bc	3,5±0,1 b	4,7±0,1 b	6,2±0,2 b	7,2±0,4 ab	8,4±0,5 ab
P50T5	2,2±0,1 b	3,1±0,1 bc	3,9±0,2 bc	5,4±0,5 bc	6,4±0,3 b	8,0±0,6 b	9,0±0,4 ab
P60T1	2,6±0,1 c	3,5±0,1 c	4,4±0,3 bc	6,0±0,6 bc	7,1±0,5 c	9,4±0,6 bc	12,6±1,3 c
P60T3	3,0±0,2 c	4,3±0,1 d	5,7±0,5 c	8,2±0,9 c	9,9±1,1 d	12,2±1,4 c	13,8±0,9 c
P60T5	4,0±0,2 d	5,3±0,1 d	6,6±0,3 c	8,4±0,7 c	9,6±1,1 d	10,9±1,9 c	12,3±1,8 c

*Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat $F < 0,05$. Huruf yang sama dibelakang angka pada baris yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Tabel 3. Hasil uji Tukey Honest Significant Difference (HSD) terhadap tekstur (N)

Perlakuan	Waktu Pengamatan (Hari)						
	3	6	9	13	17	20	23
P0	299,5±5 a	131,7±1 a	97,7±3 a	66,8±10 a	110,5±2 a	100,6±5 a	65,9±3 a
P40T1	96,9±13 a	97,1±25 a	79,4±1 a	68,2±5 a	106,3±33 a	68,3±9 a	61,2±5 a
P40T3	130,2±11 a	94,9±1 a	71,9±12 a	55,1±6 ab	89,1±14 a	81,4±19 a	54,5±6 ab
P40T5	60,0±12 a	81,6±10 a	77,1±13 a	50,1±4 ab	85,7±7 a	57,8±10 a	55,1±6 ab
P50T1	59,9±22 a	82,4±18 a	91,7±12 a	46,3±6 b	88,0±12 a	51,5±12 ab	45,4±3 b
P50T3	41,6±3 ab	39,4±3 b	55,8±12 ab	44,0±4 b	55,4±6 ab	35,5±4 b	37,6±5 b
P50T5	37,3±7 b	45,5±3 b	46,7±8 b	30,9±3 b	65,1±9 ab	32,0±2 b	35,7±3 b
P60T1	42,6±8 b	52,6±16 b	48,5±11 b	35,8±2 b	39,1±6 b	31,4±2 b	25,2±2 b
P60T3	32,5±6 b	32,3±1 b	39,2±4 b	39,3±8 b	37,2±6 b	27,7±9 b	28,3±2 b
P60T5	36,2±4 b	34,1±8 b	37,6±4 b	40,8±11 b	33,5±4 b	33,1±2 b	27,1±1 b

*Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat $F < 0,05$. Huruf yang sama dibelakang angka pada baris yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Kadar Air

Hasil analisis terhadap kadar air menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) antara perlakuan suhu dan waktu perendaman HWT baik pada awal maupun akhir penyimpanan. Hasil nilai kadar air awal berkisar antara 92.7% hingga 93.8%,

sedangkan kadar air akhir berkisar antara 92.2% hingga 93.9%.

Pada Gambar 4 menunjukkan kadar air awal dan akhir buncis berada dalam kisaran 92,2% hingga 93,9%, dengan sedikit penurunan di akhir, terutama pada perlakuan bersuhu lebih tinggi dan berdurasi lebih lama. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh

hilangnya air bebas selama proses HWT, sementara air terikat tetap stabil karena perlakuan singkat dan sampel masih segar. Struktur jaringan yang melunak akibat pemanasan dapat membuat air terikat lebih sulit menguap. Namun, pada suhu tinggi, jaringan menjadi lebih permeabel, sehingga meningkatkan penguapan dan menyebabkan dehidrasi internal. Hal ini sesuai dengan Jayasundara et al., (2025) yang menyatakan bahwa perlakuan panas yang tidak tepat dapat mempercepat kehilangan air akibat kerusakan jaringan.

Uji *Independent-Sample T Test* digunakan untuk mengetahui perbedaan kadar air buncis antara awal dan akhir pengamatan, dengan hipotesis H_0 = tidak berbeda dan H_1 = berbeda. Hasil uji menunjukkan nilai Sig (2-tailed) sebesar $0,695 > 0,05$, sehingga H_0 diterima. Artinya, tidak terdapat perbedaan signifikan antara kadar air awal dan akhir, baik dari segi kenaikan maupun kehilangan kadar air.

Warna

Analisis warna pada buncis ditentukan menggunakan teori perubahan warna yang dipakai yaitu perubahan nilai CIE a^* dari kondisi awal (Hari 0) terhadap semua hari lainnya, atau disebut juga perbedaan kumulatif dari *baseline* (*cumulative difference from day zero*). Hasil analisis terhadap perubahan nilai CIE a^* menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan waktu perendaman berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap perubahan warna buncis selama penyimpanan.

Perlakuan kontrol (P0) menunjukkan peningkatan bertahap nilai CIE a^* , mencerminkan perubahan warna alami tanpa perlakuan panas, namun tetap dalam rentang warna hijau. Pada Gambar 8 terlihat suhu 40°C waktu 1 menit (P40T1) menunjukkan perubahan warna ringan. Pada suhu 40°C waktu 3 menit (P40T3) juga menunjukkan tren peningkatan, namun peningkatannya tidak sebesar pada waktu 5 menit (P40T5) yang mengalami peningkatan nilai a^* tertinggi ($20,5 \pm 3$), menandakan perubahan warna ke cokelat kemerahan akibat pemanasan lebih lama yang memicu degradasi pigmen.

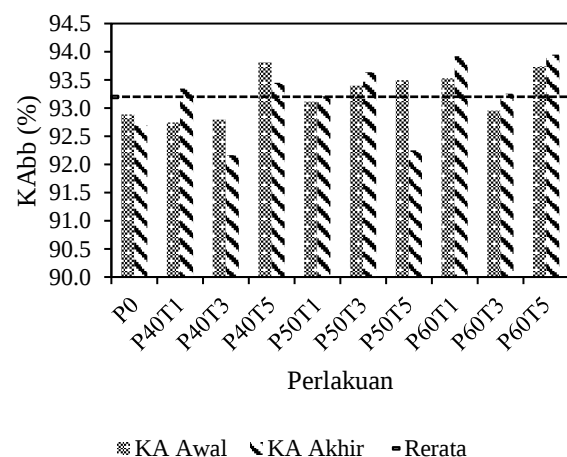
Pada suhu 50°C waktu 1 menit (P50T1) mengalami lonjakan nilai a^* hingga $10,3 \pm 2$, mengarah ke warna cokelat kekuningan. Pada suhu 50°C waktu 3 menit (P50T3) dan 5 menit (P50T5) menunjukkan perubahan warna lebih stabil, tetap mempertahankan warna hijau meskipun adanya fluktuasi warna pada pengamatan ke-17 terlihat pada Gambar 9. Sementara itu, pada suhu 60°C waktu 1 menit (P60T1) dan 3 menit (P60T3) menunjukkan penurunan tajam nilai

a^* di akhir pengamatan akibat kerusakan pigmen dan munculnya memar. Pada Gambar 10, perlakuan suhu 60°C waktu 5 menit (P60T5) mempertahankan nilai a^* tinggi, menandakan degradasi klorofil yang signifikan dan perubahan warna menjadi cokelat pucat kemerahan akibat panas berlebihan.

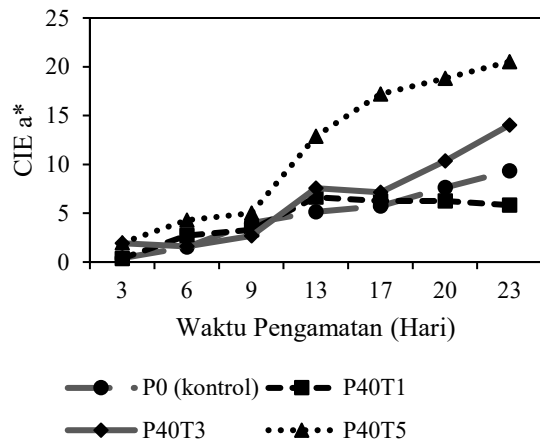
Pada Tabel 4 pengamatan ke-23, perlakuan P0 ($-16,6 \pm 1$) dan P40T1 ($-19,3 \pm 3$) menunjukkan nilai CIE a^* terendah, menandakan warna hijau paling terjaga, diikuti oleh P50T3, P50T5, dan P60T1 dengan nilai yang juga rendah dan notasi statistik serupa (a'). Sebaliknya, perlakuan P40T5 dan P60T5 menunjukkan perubahan warna signifikan, dengan nilai a^* lebih tinggi dan notasi statistik ab' atau b' . Ini menandakan bahwa kedua perlakuan tersebut kurang efektif dalam mempertahankan warna hijau, dan cenderung mengalami perubahan warna ke cokelat kekuningan atau cokelat kemerahan akibat degradasi pigmen karena suhu dan durasi pemanasan yang lebih tinggi dilihat pada Gambar 11. Secara umum, peningkatan nilai a^* selama penyimpanan menunjukkan degradasi klorofil berlangsung lambat, seperti dijelaskan oleh Chairat et al., (2012), bahwa perubahan warna hijau menjadi kuning disebabkan oleh penurunan klorofil selama penyimpanan (Tavanikone & Pranamornkith, 2019).

Intensitas Kerusakan

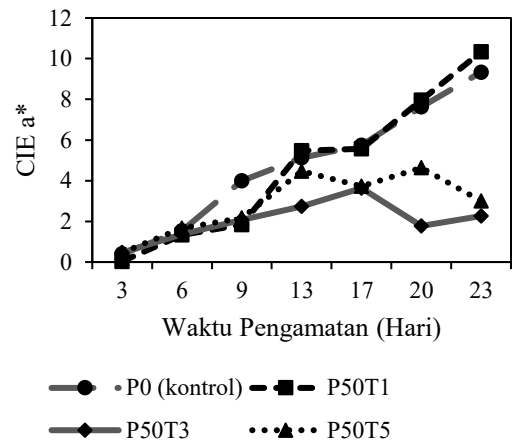
Analisis yang diperoleh mengenai persentase intensitas kerusakan buncis sesuai dengan Tabel 1 kategori kerusakan pada berbagai perlakuan (HWT) dengan 7 kali pengamatan dan masa penyimpanan selama 23 hari. Hasil analisis tersebut berdasarkan data yang ditampilkan dalam Tabel 5.



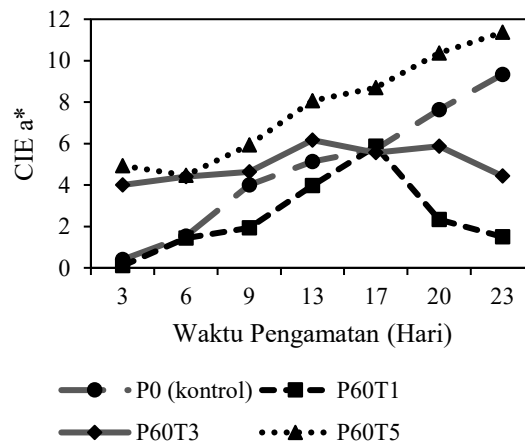
Gambar 7. Kadar air diawal dan akhir hari pengamatan



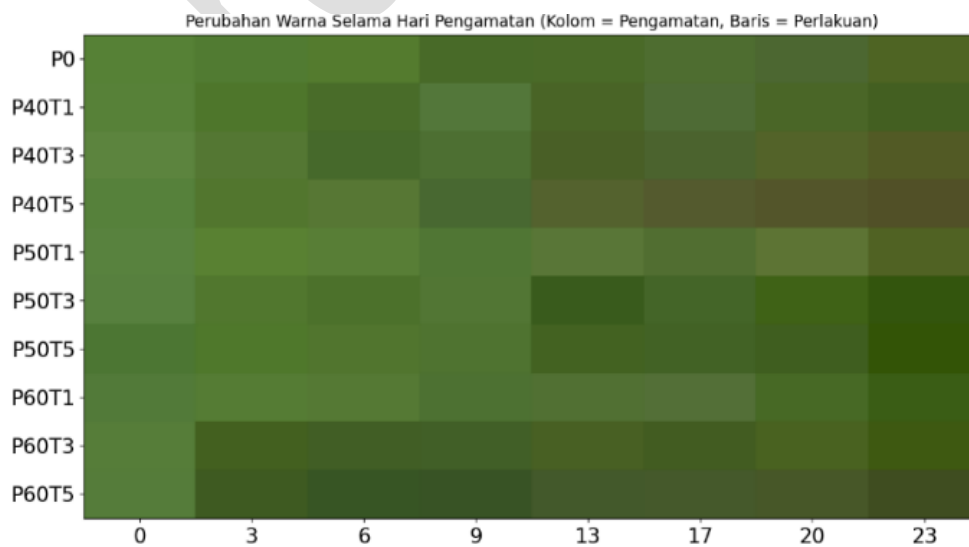
Gambar 8. Perubahan nilai a^* 40°C dari kondisi awal



Gambar 9. Perubahan nilai a^* 50°C dari kondisi awal



Gambar 10. Perubahan nilai a^* 60°C dari kondisi awal



Gambar 11. Perubahan warna selama 23 hari pengamatan

Sampel buncis dengan intensitas kerusakan antara 0% hingga $\leq 25\%$ masih tergolong layak konsumsi. Perlakuan kontrol dan suhu 40°C (P40T1 - P40T5) menunjukkan efektivitas dalam memperlambat kerusakan. P40T3 (3 menit) dan P40T5 (5 menit) masing-masing menunjukkan kerusakan 16% dan 18% pada hari ke-23, menandakan bahwa durasi 3 menit sedikit lebih efektif. Meskipun tidak menekan kerusakan secara drastis, suhu 40°C cukup baik dalam menjaga kualitas buncis selama penyimpanan. Perlakuan suhu 50°C menghasilkan tingkat kerusakan yang bervariasi. P50T1 (1 menit) masih menunjukkan efek perlindungan dengan kerusakan 33%, namun P50T3 (3 menit) dan P50T5 (5 menit)

mengalami peningkatan kerusakan hingga 45% dan 51%. Suhu 60°C (P60T1 - P60T5) secara jelas mempercepat kerusakan buncis secara drastis. P60T1 (1 menit) mengalami kerusakan hingga 97%, sedangkan P60T3 (3 menit) dan P60T5 (5 menit) mencapai kerusakan total (100%) lebih cepat. Hal ini menunjukkan bahwa suhu 60°C melebihi ambang toleransi jaringan buncis, menyebabkan kerusakan termal yang mempercepat pembusukan dan penurunan kualitas secara signifikan. Peningkatan ini diduga akibat dampak pemanasan seperti terjadinya memar secara menyeluruh, kehilangan air, dan gangguan pematangan, yang merusak struktur internal buncis (Jayasundara et al., 2025).

Tabel 4. Hasil uji Tukey Honest Significant Difference (HSD) terhadap perubahan warna nilai CIE a*

Perlakuan	Waktu Pengamatan (Hari)						
	3	6	9	13	17	20	23
P0	-25,5±1 a	-24,4±1 a	-21,9±2 a	-20,8±1 a	-20,2±0,5 a	-18,3±2 ab	-16,6±1 ab
P40T1	-24,8±2 a	-22,5±2 a	-21,9±2 a	-18,5±3 ab	-18,9±2 a	-18,9±4 a	-19,3±3 a
P40T3	-22,0±0,5 a	-22,4±1 a	-21,3±1 a	-16,4±1 ab	-16,8±4 ab	-13,6±7 b	-9,9±6 b
P40T5	-23,3±0,2 a	-20,9±1 a	-20,2±2 a	-12,4±2 b	-8,0±6 b	-6,4±2 b	-4,7±3 b
P50T1	-25,0±2 a	-23,6±1 a	-23,1±3 a	-19,5±1 ab	-19,4±1 a	-17,0±3 ab	-14,6±4 ab
P50T3	-24,0±1 a	-23,1±0,5 a	-22,4±1 a	-21,7±2 a	-20,8±3 a	-22,7±3 a	-22,2±3 a
P50T5	-25,3±0,1 a	-23,2±1 a	-22,7±1 a	-20,4±1 a	-21,1±1 a	-20,2±3 a	-21,9±1 a
P60T1	-24,1±0,4 a	-22,8±1 a	-22,3±0,1 a	-20,3±1 a	-18,4±2 ab	-21,9±4 a	-22,7±3 a
P60T3	-19,8±2 ab	-19,4±3 ab	-19,2±1 ab	-17,7±2 ab	-18,3±1 ab	-18,0±2 ab	-19,4±3 ab
P60T5	-18,6±2 ab	-19,0±2 ab	-17,6±2 ab	-15,4±1 b	-14,8±1 b	-13,1±1 b	-12,1±2 b

*Perbedaan rata-rata signifikan pada tingkat $F < 0,05$. Huruf yang sama dibelakang angka pada baris yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata.

Tabel 5. Persentase intensitas kerusakan buncis pada perlakuan HWT selama 23 hari penyimpanan

Perlakuan	Waktu Pengamatan (Hari)							
	0	3	6	9	13	17	20	23
P0	0%	0%	0%	3%	6%	13%	20%	22%
P40T1	0%	0%	0%	0%	13%	13%	18%	20%
P40T3	0%	0%	0%	0%	13%	13%	16%	16%
P40T5	0%	0%	0%	0%	14%	14%	16%	18%
P50T1	0%	0%	2%	3%	16%	16%	23%	33%
P50T3	0%	0%	2%	12%	19%	20%	28%	45%
P50T5	0%	0%	3%	10%	19%	22%	27%	51%
P60T1	0%	18%	39%	47%	63%	63%	93%	97%
P60T3	0%	31%	55%	64%	67%	100%	100%	100%
P60T5	0%	50%	67%	100%	100%	100%	100%	100%

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perlakuan *hot water treatment* (HWT) pada suhu 40°C selama 3 menit merupakan perlakuan yang paling baik dalam memperlambat penurunan kualitas

fisik buncis selama penyimpanan dingin. Perlakuan ini mampu menekan susut bobot hingga sekitar 5,6%, mempertahankan kadar air, serta menjaga tekstur agar tetap stabil. Selain itu, intensitas kerusakan dapat ditekan hingga 16% selama 23 hari penyimpanan. Meskipun demikian, perlakuan ini masih kurang

efektif dalam mempertahankan warna hijau buncis, karena terjadi peningkatan nilai CIE a^* yang menunjukkan kecenderungan perubahan warna ke arah merah akibat degradasi klorofil.

Saran

Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut yang fokus pada kombinasi HWT dengan teknik penyimpanan lainnya, seperti *modified atmosphere packaging*. Tujuannya adalah mempertahankan kualitas buncis dan memperpanjang masa simpan melebihi 23 hari. Selain itu, penting juga untuk melakukan analisis kimia, seperti mengukur pH, kadar protein, dan sifat lain dari bahan kimia, serta analisis mikrobiologi untuk mengevaluasi seberapa efektif perlakuan HWT dalam mengurangi pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan dan kandungan gizinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Baldassi, C., Lee, C., Dossett, M., & Castellarin, S. D. (2024). High-throughput color determination of red raspberry puree and correlation of color parameters with total anthocyanins. *Plant Methods*, 20(1), 78. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01197-0>
- Cascais, M., Monteiro, P., Pacheco, D., Cotas, J., Pereira, L., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2021). Effects of Heat Treatment Processes: Health Benefits and Risks to the Consumer. *Applied Sciences*, 11(18), 8740. <https://doi.org/10.3390/app11188740>
- Chairat, B., Nutthachai, P., & Varit, S. (2012). Effect of UV-C treatment on chlorophyll degradation, antioxidant enzyme activities and senescence in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*). *International Food Research Journal*, 20(2), 623–628.
- Dhani, A. R. (2008). Mutu dan umur simpan buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) pada berbagai kemasan transportasi. *IPB (Bogor Agricultural University)*.
- Ghanghas, S., Singh, V. K., Kumar, S., Kumar, N., & Garg, M. K. (2022). *Withdrawn: Prediction of fruit quality parameters using peel color in Citrus Reticulata L. fruit by multiple linear regression and artificial neural network approach*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2332668/v1>
- Hong, S.-I., Lee, H.-H., & Kim, D. (2007). Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control. *Postharvest Biology and Technology*, 43(2), 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.09.008>
- Jayasundara, J. M. D. N., Sawbhagya, L. H. N., Kumarihami, H. M. P. C., Kramchote, S., & Fallik, E. (2025). A comprehensive review of hot water treatments of fruits and vegetables for postharvest quality management. *Journal of Postharvest Technology*, 13, 1–36. <https://doi.org/10.29204/jpht.2025.13.1.1>
- Khairunnisa, S., & Putra, B. S. (2023). *Kajian Lama Perendaman Kacang Buncis (Phaseolus vulgaris L.) dalam Ozon dan Penyimpanan Suhu Rendah*. 8.
- Lupu, M., Nedeff, V., Panainte, M., & Rusu, D.-I. (2022). Techniques and Methods for Measuring the Texture of Processed and Fresh Agro-Food Products – A Review. *BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI. Secția Matematica. Mecanică Teoretică. Fizică*, 68(4), 7–28. <https://doi.org/10.2478/bipmf-2022-0016>
- Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2017), 20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>
- Mutirani, A., Giyanto, G., & Tondok, E. T. (2023). Perlakuan Air Panas untuk Pengendalian Penyakit Busuk Buah Salak selama Penyimpanan. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 11(2), 205–221. <https://doi.org/10.19028/jtep.011.2.205-221>
- Pranata, T. P., Pudja, I. A. R. P., & Kencana, P. K. D. (2022). Pengaruh Perbedaan Suhu dan Jenis Kemasan Plastik terhadap Kesegaran Buncis (*Phaseolus vulgaris* L) selama Penyimpanan Dingin. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 11(1), 99. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i01.p11>

- Proulx, E., Yagiz, Y., Cecilia, M., Nunes, N., & Emond, J.-P. (2010). Quality Attributes Limiting Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Postharvest Life at Chilling and Non-chilling Temperatures. *HortScience*, 45(8), 1238–1249.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1238>
- Putranto, K. (2020). Mempelajari Karakteristik Berbagai Grade Buncis (*Phaseolus Vulgaris* L.) Varietas Lokal selama Penyimpanan Dingin 7 Hari. *AGRITEKH (Jurnal Agribisnis dan Teknologi Pangan)*, 1(01), 59–71.
<https://doi.org/10.32627/agritekh.v1i01.15>
- Rumahlewang, W., Amanupunyo, H. R. D., & Tomia, B. S. (2022). Kerusakan Buah Kakao Akibat Penyakit Busuk Buah (*Phytophthora palmivora* Butlher). 2.
- Tavanikone, C., & Pranamornkith, T. (2019). Effects of Hot Water Combined with UV-C Treatment on Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*) during Storage. *International Conference on Agriculture and Agro-Industry*, 5, 172–176.
- Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M., & Neri, F. (2016). Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 30–40.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.002>
- Wulandari, P. (2011). *Budidaya Tanaman Buncis (Phaseolus Vulgaris L.) untuk Benih di Kebun Benih Hortikultura Bandungan*. UNS-F. Pertanian Prodi. Agribisnis Hortikultura Dan Arsitektur Pertamanan.
<https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/19839>

Lampiran 1. Kode program warna LAB menjadi HEX

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from colormath.color_objects import LabColor, sRGBColor
from colormath.color_conversions import convert_color

# Baca file CSV
df = pd.read_csv("WarnaLAB.csv")

# Konversi LCH ke HEX
def lch_to_hex(L, a, b):
    try:
        lch = LabColor(L, a, b)
        rgb = convert_color(lch, sRGBColor)
        return rgb.get_rgb_hex()
    except:
        return "#000000"
df["HEX"] = df.apply(lambda row: lch_to_hex(row["L"], row["a"], row["b"]), axis=1)

df = df.sort_values(by=["Perlakuan", "Hari"])

# Buat pivot tabel warna HEX (transpose)
pivot = df.pivot(index="Perlakuan", columns="Hari", values="HEX")
treatments = pivot.index.tolist()
days = pivot.columns.tolist()

# Buat gambar
fig, ax = plt.subplots(figsize=(len(days), len(treatments)))
for i, perlakuan in enumerate(treatments):
    for j, hari in enumerate(days):
        color = pivot.loc[perlakuan, hari]
        ax.add_patch(plt.Rectangle((j, i), 1, 1, color=color))

# Set axis dan label dengan font yang diperbesar
ax.set_xlim(0, len(days))
ax.set_ylim(0, len(treatments))
ax.set_xticks([i + 0.5 for i in range(len(days))])
ax.set_xticklabels([str(h) for h in days], fontsize=12) # Ukuran font diperbesar di sini
ax.set_yticks([i + 0.5 for i in range(len(treatments))])
ax.set_yticklabels(treatments, fontsize=12) # Ukuran font diperbesar di sini
ax.invert_yaxis()
ax.set_title("Perubahan Warna Selama Hari Pengamatan (Kolom = Hari, Baris = Perlakuan)",
             fontsize=14)
plt.tight_layout()

plt.savefig("perubahan_warna_lgambar.png")
plt.show()
```