



# Pemanfaatan Nanobubble Karbon Dioksida untuk Memperpanjang Umur Simpan Tomat: Analisis Susut Bobot dan Kenampakan Visual

S. Rosalinda<sup>1</sup>, Nurul Khoiriyah<sup>1,\*</sup>, Hilman Syaeful Alam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia

<sup>2</sup>Balai Pengembangan Instrumentasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung, Indonesia

Email: <sup>1</sup>s.rosalinda@unpad.ac.id, <sup>2\*</sup>nurul21013@mail.unpad.ac.id, <sup>3</sup>hilm003@lipi.go.id

Email Penulis Korespondensi: nurul21013@mail.unpad.ac.id

**Abstrak**—Tomat sebagai komoditas hortikultura menghadapi masalah utama berupa kerusakan pascapanen yang cepat akibat kandungan air tinggi dan laju respirasi yang terus berlangsung setelah panen. Hal ini menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani dan konsumen. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh teknologi *nanobubble* karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang diaplikasikan melalui *mist* generator terhadap susut bobot dan kenampakan visual tomat selama penyimpanan sebagai solusi pencegahan kerusakan. Metode penelitian meliputi pembuatan larutan *nanobubble* dan menginjeksikan gas CO<sub>2</sub> ke dalam air dengan memprosesnya menggunakan *nanobubble* generator hingga terbentuk gelembung berukuran nano. Larutan tersebut diaplikasikan dalam bentuk kabut menggunakan *mist* generator langsung ke permukaan tomat sebelum penyimpanan. Evaluasi dilakukan dengan mengukur susut bobot secara kuantitatif dan menilai kenampakan visual secara kualitatif selama 14 hari penyimpanan pada suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *nanobubble* CO<sub>2</sub> melalui *mist* generator mampu menekan susut bobot hingga 4 % dibandingkan kontrol tanpa perlakuan. Teknologi ini juga terbukti efektif mempertahankan kesegaran dan penampilan visual tomat dalam periode penyimpanan yang lebih panjang. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa aplikasi *nanobubble* karbon dioksida dengan *mist* generator merupakan alternatif teknologi ramah lingkungan yang potensial untuk memperpanjang umur simpan produk hortikultura segar.

**Kata Kunci:** *Nanobubble*; Karbon Dioksida; *Mist* Generator; Susut Bobot; Kenampakan Visual

**Abstract**—Tomatoes, as a horticultural commodity, face major postharvest challenges due to their high water content and continued respiration after harvest, which lead to rapid deterioration. This results in significant economic losses for both farmers and consumers. This study aims to analyze the effect of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) nanobubble technology applied through a mist generator on weight loss and visual appearance of tomatoes during storage, as a preventive solution to postharvest damage. The research method involved producing nanobubble solution by injecting CO<sub>2</sub> gas into water using a nanobubble generator to form nanoscale bubbles. The resulting solution was applied in mist form directly onto the tomato surface using a mist generator prior to storage. Evaluation was conducted by quantitatively measuring weight loss and qualitatively assessing visual appearance over a 14-day storage period at room temperature. The results showed that CO<sub>2</sub> nanobubble treatment via mist generator reduced weight loss by up to 4% compared to the untreated control. This technology was also effective in maintaining the freshness and visual quality of tomatoes during extended storage. These findings confirm that carbon dioxide nanobubble application through a mist generator is a promising and environmentally friendly alternative technology for extending the shelf life of fresh horticultural produce.

**Keywords:** Nanobubble; Carbon Dioxide; Mist Generator; Weight Loss; Visual Appearance

## 1. PENDAHULUAN

Tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang secara botani tergolong sebagai buah, namun dalam penggunaannya sering dikategorikan sebagai sayuran karena karakteristik klimakteriknya yang memungkinkan pematangan berlanjut setelah dipanen. Respirasi klimakterik pada tomat menyebabkan lonjakan produksi etilen yang mempercepat pematangan, sehingga tekstur buah menjadi lebih lunak, terjadi perubahan warna, dan kandungan nutrisinya menurun. Proses ini juga meningkatkan laju respirasi yang mempercepat degradasi senyawa organik dan memperpendek masa simpan tomat, mengakibatkan penurunan mutu secara keseluruhan (Quinet et al., 2019). Tomat memiliki kandungan nutrisi yang sangat bermanfaat bagi kesehatan, dengan 100 gram tomat mengandung vitamin C yang dapat memenuhi 20% kebutuhan harian, vitamin A sebesar 10-20% kebutuhan harian, serta mineral penting seperti kalium, fosfor, dan antioksidan likopen yang mempengaruhi warna tomat. Konsumsi tomat yang tinggi di masyarakat didorong oleh kesadaran akan manfaat kesehatannya, terutama kandungan antioksidan yang dapat menurunkan risiko penyakit jantung dan kanker tertentu (Ali et al., 2021; Collins et al., 2022).

Karakteristik klimakterik tomat menjadikannya sangat rentan terhadap kerusakan pascapanen, dengan penurunan mutu yang terlihat jelas dari perubahan bobot dan kenampakan visual seperti munculnya bercak pada kulit buah, kulit dan daging buah yang keriput, serta pertumbuhan jamur di permukaan buah (Wang et al., 2017). Kerusakan pascapanen tomat dapat disebabkan oleh berbagai faktor biotik seperti serangan jamur *Botrytis cinerea*, *Mucor sp.*, dan *Aspergillus niger*, maupun faktor abiotik seperti pengaruh suhu selama penyimpanan dan transportasi (Mirza et al., 2025). Data menunjukkan bahwa kerugian pascapanen tomat secara global dapat mencapai 30 % dan sangat merugikan petani maupun konsumen (Wahome, 2019). Penanganan dan penyimpanan yang tidak tepat akan mempercepat proses degradasi, baik secara fisik, kimia, maupun mikrobiologi, sehingga menurunkan nilai ekonomis dan kualitas tomat. Oleh karena itu, pengendalian dan kontrol yang ketat dalam proses pascapanen tomat menjadi sangat krusial untuk mempertahankan kualitas, memperpanjang masa simpan, dan meminimalkan kerugian ekonomi yang ditimbulkan (Dawad & Karki, 2022).



Berbagai metode telah digunakan untuk memperpanjang umur simpan tomat, seperti fungisida kimia, iradiasi, dan *cold storage* yang memerlukan biaya operasional tinggi dan berisiko meninggalkan residu (Safni et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan teknologi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk mempertahankan mutu tomat selama penyimpanan dan distribusi. Salah satu teknologi yang mulai dikembangkan adalah *nanobubble*, yaitu gelembung gas berukuran sangat kecil (<200 nm) yang memiliki luas permukaan tinggi dan stabilitas larutan yang baik (Thi Phan et al., 2020). Penelitian ini secara khusus menggunakan *nanobubble* yang dibuat dengan menginjeksikan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke dalam larutan, mengingat bahwa CO<sub>2</sub> memiliki peran penting dalam mengatur laju respirasi buah klimakterik seperti tomat (Kargwal et al., 2020). Karbon dioksida merupakan salah satu gas yang memiliki kelarutan tinggi dalam air sehingga dapat meningkatkan keasaman untuk menghambat pertumbuhan mikroba. Gas karbon dioksida yang digunakan dalam konsentrasi rendah, karena dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan metabolisme fermentatif dan penurunan kualitas buah (Cefola et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pemanfaatan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> yang dikabutkan menggunakan *mist* generator dalam memperpanjang umur simpan tomat. *Mist* generator digunakan untuk mengubah larutan menjadi kabut halus berukuran mikro hingga nano, yang memungkinkan distribusi merata di permukaan buah tanpa menimbulkan kelembaban berlebih (Martínez et al., 2020). Kombinasi *nanobubble* CO<sub>2</sub> dapat membantu mengurangi pembusukan dan menjaga kesegaran dengan mengontrol produksi etilen dan kadar oksigen (Pal & Anantharaman, 2022). Teknologi ini menciptakan lingkungan yang berfungsi menjaga bobot buah dan mempertahankan penampilan visualnya selama masa simpan. Pengamatan dalam penelitian ini difokuskan pada dua parameter mutu utama, yaitu susut bobot dan kenampakan visual yang mencerminkan kondisi fisiologis dan mikrobiologis buah secara langsung.

Berbeda dari metode lain seperti fungisida kimia atau *cold storage*, pendekatan ini secara spesifik menggabungkan teknologi *mist* generator dengan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan perlakuan yang lebih menyeluruh, efektif, dan ramah lingkungan (Pinela & Ferreira, 2017). Fokus pada dua indikator mutu tersebut memberikan keunggulan aplikatif karena berkaitan langsung dengan tampilan dan daya jual produk. Penelitian ini juga menjadi respons terhadap tingginya kerugian pascapanen tomat. Dengan memanfaatkan teknologi berbasis air dan gas, pendekatan ini tidak hanya bertujuan memperpanjang umur simpan tomat, tetapi juga meningkatkan nilai jual dan daya saingnya di pasar domestik maupun ekspor. Melalui integrasi antara *mist* generator dan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub>, penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi strategis dalam menjaga kesegaran tomat selama penyimpanan. Teknologi ini menawarkan pendekatan yang praktis, aman, dan berkelanjutan, serta membuka peluang baru dalam pengembangan teknologi pencucian pascapanen berbasis nanoteknologi. Dengan demikian, penelitian ini secara khusus bertujuan mengevaluasi pengaruh aplikasi larutan *nanobubble* karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menggunakan *mist* generator terhadap susut bobot dan kenampakan visual tomat selama penyimpanan sebagai upaya memperpanjang masa simpan dan menjaga kualitasnya. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan teknologi *nanobubble* serta menawarkan solusi aplikatif yang ramah lingkungan untuk penanganan pascapanen tomat.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Kerangka Dasar Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang dirancang untuk mengkaji pengaruh aplikasi larutan *nanobubble* karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terhadap mutu tomat selama penyimpanan. Penelitian menggunakan desain eksperimen faktorial dua arah, dengan perlakuan berupa larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> sebagai variabel bebas, dan dua variabel terikat utama yaitu persentase susut bobot dan kenampakan visual buah tomat. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa aplikasi larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> melalui *mist* generator dapat memperlambat laju susut bobot dan mempertahankan visual tomat secara signifikan selama masa simpan. Data dianalisis menggunakan ANOVA dua arah pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ), diikuti dengan uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) untuk menentukan perbedaan nyata antar kelompok perlakuan.

### 2.2 Nanobubble

*Nanobubble* adalah teknologi yang menghasilkan gelembung gas berukuran sangat kecil, biasanya di bawah 200 nanometer. Ukurannya yang sangat kecil memberikan beberapa keunggulan seperti stabilitas tinggi dalam cairan. Dalam bidang penyimpanan pascapanen, *nanobubble* berfungsi sebagai pembawa gas aktif seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dapat secara efisien diserap oleh permukaan buah atau sayur. Selain itu, tekanan internal yang tinggi pada gelembung ini mempercepat difusi gas, yang sangat penting dalam penghambatan aktivitas mikroba dan pengaturan respirasi pada buah. Teknologi ini juga dianggap ramah lingkungan karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan tidak meninggalkan residu (Thi Phan et al., 2020).

### 2.3 Karbon Dioksida

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan gas yang secara alami terlibat dalam proses respirasi dan fotosintesis tumbuhan. Dalam aplikasi pascapanen, CO<sub>2</sub> digunakan karena kemampuannya menekan laju respirasi dan memperlambat produksi etilen, yaitu hormon yang mempercepat pematangan buah klimakterik seperti tomat. Namun, penggunaan CO<sub>2</sub> dalam

konsentrasi tinggi berpotensi menyebabkan metabolisme fermentatif yang merusak kualitas buah (Cefola et al., 2023). Karbon dioksida dalam bentuk nanobubble merupakan pendekatan baru yang menjanjikan karena mampu memberikan manfaat yang sama seperti modifikasi atmosfer, tetapi tanpa memerlukan sistem tertutup yang kompleks.

## 2.4 Mist Generator

Mist generator adalah perangkat yang dirancang untuk menghasilkan kabut halus dari cairan, biasanya dengan menggunakan teknologi ultrasonik atau tekanan tinggi. Mist generator digunakan untuk menyemprotkan larutan nanobubble secara merata ke permukaan tomat. Keunggulan dari metode pengabutan ini sistem yang bersifat non-kontak, sehingga mengurangi risiko kerusakan mekanik pada buah yang rentan seperti tomat (Martínez et al., 2020). Mist generator menjadi solusi aplikatif yang tidak hanya efektif dari segi teknis, tetapi juga hemat energi dan dapat diintegrasikan dengan sistem penyimpanan atau distribusi secara praktis.

## 2.5 Susut Bobot

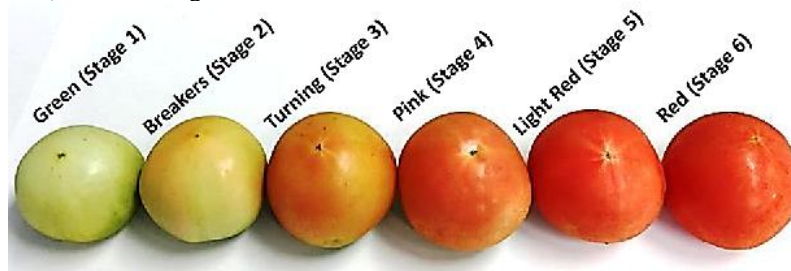
Susut bobot mencerminkan kehilangan air dan massa buah selama proses penyimpanan. Hal ini umumnya terjadi karena dua mekanisme yaitu transpirasi dan respirasi. Transpirasi menyebabkan penguapan air dari permukaan buah, sedangkan respirasi melibatkan pemecahan karbohidrat menjadi energi yang menghasilkan karbon dioksida dan air. Dalam buah klimakterik seperti tomat, laju respirasi tinggi sehingga susut bobot dapat terjadi dengan cepat dan berdampak langsung pada kesegaran dan kualitas jual buah. Penurunan bobot menyebabkan tekstur menjadi lunak, rasa berkurang, dan tampilan visual menurun (Lufu et al., 2020). Oleh karena itu, susut bobot yang rendah menjadi indikator keberhasilan suatu perlakuan penyimpanan.

## 2.6 Kenampakan Visual

Kenampakan visual adalah salah satu faktor utama yang menentukan daya tarik dan nilai jual buah di pasaran. Parameter ini mencakup warna kulit, tekstur permukaan, tingkat keriput, serta keberadaan bercak atau tanda-tanda pembusukan. Pada tomat, perubahan warna dari pink ke merah menandakan proses pematangan, sedangkan kerusakan visual seperti pelunakan berlebihan, bercak hitam, dan pertumbuhan jamur merupakan tanda degradasi mutu Wang et al., 2017). Evaluasi visual bersifat kualitatif namun sangat relevan karena mencerminkan kondisi fisiologis dan mikrobiologis buah secara nyata.

## 2.7 Pemilihan Warna Tomat

Pemilihan tomat untuk perlakuan dalam penelitian ini didasarkan pada tingkat kematangan buah yang dinilai dari warna kulit, mengacu pada klasifikasi warna tomat menurut standar visual dari USDA (1991). Kriteria ini penting untuk memastikan homogenitas kematangan buah pada saat pengamatan, sehingga data yang dihasilkan lebih terkontrol dan dapat dibandingkan antar kelompok. Klasifikasi visual tingkat kematangan tomat berdasarkan USDA (*United States Department of Agriculture*) adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.** Tingkat Kematangan Tomat

1. *Green*, seluruh permukaan buah masih berwarna hijau, mulai dari hijau muda hingga hijau tua.
2. *Breaker*, menunjukkan tanda awal perubahan warna, di mana  $\leq 10\%$  permukaan mulai berubah menjadi kuning, merah muda, atau merah.
3. *Turning*, perubahan warna terjadi pada  $>10\%$  sampai dengan  $30\%$  permukaan buah.
4. *Pink*, perubahan warna telah mencapai  $>30\%$  hingga  $60\%$  permukaan kulit, didominasi warna merah muda.
5. *Light Red*,  $60\text{--}90\%$  permukaan buah berwarna merah atau merah muda pekat.
6. *Red*,  $>90\%$  permukaan tomat berwarna merah penuh, menandakan kematangan maksimal.

Klasifikasi ini digunakan sebagai acuan visual dalam seleksi awal buah sebelum diberi perlakuan, guna menjaga keseragaman kondisi fisiologis awal seluruh sampel.

## 2.8 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh larutan nanobubble CO<sub>2</sub> terhadap mutu tomat selama penyimpanan. Proses penelitian mencakup beberapa tahapan penting yang dilakukan secara berurutan dan sistematis. Gambar berikut menunjukkan bagan alur tahapan penelitian dari awal hingga tahap analisis data.



**Gambar 2.** Tahapan penelitian

### 2.8.1 Pemilihan dan Persiapan Sampel

Tomat yang digunakan dalam penelitian ini dipanen pada tingkat kematangan pink, ditandai dengan lebih dari 30% permukaan buah berwarna merah muda. Pemilihan tingkat kematangan ini didasarkan pada fase optimal di mana buah belum mencapai kematangan penuh tetapi telah melewati fase awal perubahan warna. Pada tahap ini, proses fisiologis seperti respirasi dan produksi etilen masih berlangsung, sehingga memungkinkan perlakuan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> memiliki efek nyata dalam memperlambat laju penurunan mutu. Bobot rata-rata mutu yang dipilih adalah 105 gram. Seluruh sampel disortir berdasarkan ukuran, bentuk, dan tidak memiliki kerusakan fisik atau gejala infeksi mikroba. Setelah disortir, tomat dicuci menggunakan air bersih yang mengalir untuk menghilangkan kotoran dan partikel asing yang menempel pada permukaan buah, kemudian dikeringkan secara alami pada suhu ruang sebelum perlakuan dilakukan.

### 2.8.2 Pembuatan Larutan *Nanobubble* dengan injeksi gas CO<sub>2</sub>

Larutan *nanobubble* disiapkan menggunakan air sebanyak 50 liter yang ditempatkan dalam wadah berisi *nanobubble* generator. Pembuatan *nanobubble* dilakukan dengan gas karbon dioksida yang dialirkan ke dalam air melalui nozzle dengan tekanan dan kecepatan tertentu selama 15 menit. Proses ini menghasilkan gelembung gas berukuran nanometer yang stabil dan tersebar merata di dalam larutan.

### 2.8.3 Aplikasi Larutan Menggunakan *Mist* Generator

Setelah larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> selesai dibuat, larutan tersebut dimasukkan ke dalam *mist* generator yang telah disiapkan sebelumnya. *Mist* generator berfungsi untuk mengubah larutan menjadi kabut yang dapat menyelimuti permukaan tomat secara merata. Tomat diletakkan dalam wadah berbahan plastik *food grade* di dalam ruang tertutup yang bersih. Proses pengabutan dilakukan selama 3 menit dengan jarak nozzle *mist* generator sekitar  $\pm 5$  cm dari permukaan tomat. Selama proses ini, kelembaban dan sirkulasi udara dikontrol agar tidak mempengaruhi distribusi kabut *nanobubble*. Pengabutan dilakukan satu kali secara duplo sebelum tomat disimpan untuk simulasi perlakuan pascapanen.

### 2.8.4 Penyimpanan Sampel

Setelah dilakukan pengabutan, tomat segera dipindahkan ke ruang penyimpanan dengan kondisi suhu ruang (25–27°C) dan kelembaban relatif berkisar antara 60–70%. Sampel diletakkan secara terpisah sesuai kelompok perlakuan dan disusun sedemikian rupa agar tidak saling bersentuhan, guna menghindari potensi kerusakan mekanik selama penyimpanan. Lama penyimpanan adalah 14 hari, dengan evaluasi mutu dilakukan setiap 24 jam sekali. Penyimpanan dilakukan dalam kondisi penerangan terbatas untuk mendekati kondisi penyimpanan di pasar tradisional atau distribusi terbuka.

### 2.8.5 Pengamatan Parameter Mutu

Evaluasi mutu dilakukan berdasarkan dua parameter utama, yaitu susut bobot dan kenampakan visual. Pengukuran susut bobot dilakukan dengan menimbang setiap tomat secara individu menggunakan timbangan digital presisi sebelum dan selama penyimpanan. Persentase susut bobot dihitung dari selisih bobot awal dan bobot setiap interval waktu dibandingkan terhadap bobot awal menggunakan persamaan (1) (Zhao et al., 2022). Kenampakan visual dievaluasi

secara kualitatif dilakukan setiap 24 jam sekali, dimulai dari hari ke-0 hingga hari ke-14. Parameter yang diamati meliputi perubahan warna, tekstur, kondisi permukaan, dan tanda-tanda pembusukan.

$$\frac{W_0 - W_a}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana  $W_0$  merupakan Bobot awal buah (g) dan  $W_a$  merupakan Bobot akhir buah penyimpanan hari ke-14 (g)

### 2.8.6 Analisis Data

Seluruh data pengamatan disusun dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi. Analisis statistik dilakukan menggunakan uji ANOVA dua arah dengan taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Analisis dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan dan hari penyimpanan terhadap susut bobot serta menguji interaksi antara kedua faktor tersebut untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh nyata dari perlakuan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> terhadap parameter mutu tomat. Jika terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan, maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara nyata.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

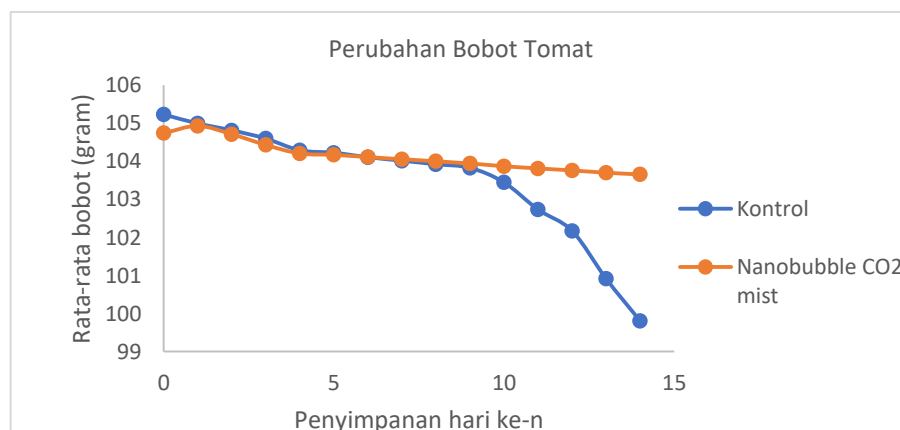
Penelitian ini mengevaluasi efektivitas aplikasi larutan *nanobubble* karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dikabutkan menggunakan *mist* generator dalam memperpanjang umur simpan tomat. Dua parameter utama yang dianalisis adalah bobot dan kenampakan visual, sebagai indikator fisiologis kualitas tomat selama penyimpanan pada suhu ruang selama 14 hari. *Nanobubble* dihasilkan dengan menginjeksikan gas CO<sub>2</sub> ke dalam air menggunakan sistem kavitas hidrodinamik hingga terbentuk gelembung gas berukuran nano (<200 nm) (Shan et al., 2023; Thi Phan et al., 2020). Setelah larutan *nanobubble* terbentuk, larutan ini bukan langsung digunakan sebagai rendaman, melainkan dikabutkan dengan *mist* generator untuk menciptakan lapisan mikro di permukaan tomat (Martínez et al., 2020). Pendekatan ini menggabungkan stabilitas tinggi larutan *nanobubble* dengan distribusi merata dari sistem pengabutan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melihat sejauh mana larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> dapat memperlambat proses kehilangan bobot yang disebabkan oleh respirasi dan transpirasi (Gidado et al., 2024). Bobot tomat diamati secara berkala, dan data diolah secara statistik untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan serta waktu penyimpanan, termasuk interaksinya.

### 3.1 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi teknologi *nanobubble* karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam bentuk kabut melalui *mist* generator memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas pascapanen tomat selama penyimpanan 14 hari pada suhu ruang. Tomat yang diberi perlakuan *nanobubble* CO<sub>2</sub> mengalami penurunan bobot yang lebih lambat serta mempertahankan kenampakan visual yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol tanpa perlakuan. Pengamatan visual mendukung temuan ini, di mana tomat perlakuan tetap mempertahankan warna dan tekstur yang lebih baik hingga akhir masa simpan. Secara keseluruhan, kabut *nanobubble* CO<sub>2</sub> berfungsi sebagai atmosfer pelindung mikro yang memperlambat proses metabolisme dan pertumbuhan mikroorganisme, serta menjadi solusi ramah lingkungan dalam memperpanjang umur simpan dan daya tarik visual tomat segar.

#### 3.1.1 Perubahan bobot tomat selama masa simpan

Penurunan bobot merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas pascapanen buah, termasuk tomat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara tomat yang diperlakukan dengan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> yang dikabutkan menggunakan *mist* generator dibandingkan dengan kelompok kontrol tanpa perlakuan gas. Grafik perubahan bobot pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tomat dengan perlakuan *nanobubble* mengalami penurunan bobot yang lebih lambat dibandingkan kontrol.



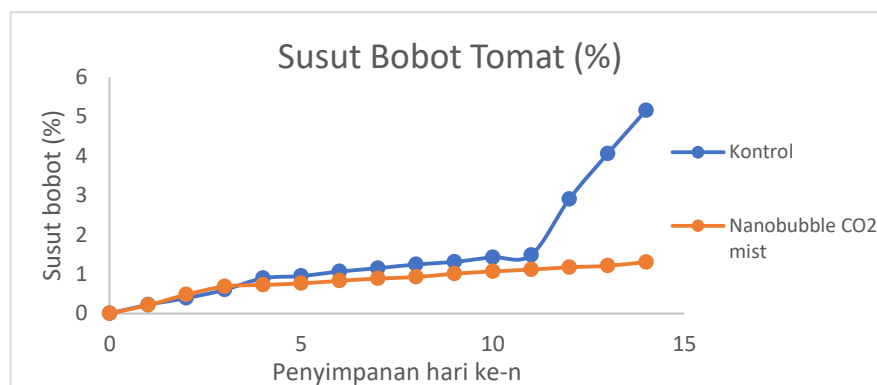
**Gambar 3.** Perubahan bobot tomat selama masa simpan

Hari pertama penyimpanan menunjukkan bobot rata-rata tomat berada pada kisaran 105 gram baik untuk kelompok kontrol maupun perlakuan. Namun, perbedaan mulai terlihat setelah hari ke-9, di mana tomat pada kelompok kontrol mengalami penurunan bobot yang lebih tajam dibandingkan dengan kelompok yang diberi perlakuan. Hingga hari ke-14, bobot rata-rata tomat kontrol turun drastis hingga mencapai 100 gram, sedangkan kelompok perlakuan mampu mempertahankan bobot mendekati stabil di kisaran 104 gram. Penurunan laju kehilangan bobot pada tomat perlakuan CO<sub>2</sub> ini sesuai dengan pernyataan bahwa karbon dioksida dapat memperlambat pelepasan air dan menurunkan respirasi pada buah klimaterik. Hal ini diperoleh pada hasil penelitian yang menyatakan bahwa atmosfer penyimpanan dengan kandungan CO<sub>2</sub> mampu menekan respirasi dan memperlambat pembusukan pada buah ceri manis (Gao et al., 2022). Dalam studi ini, tomat yang telah dikabutkan dengan *mist* dari larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> menunjukkan rata-rata penurunan bobot hanya sebesar 1,02% hingga hari ke-10, sedangkan kontrol mencapai lebih dari 2,4% dalam periode waktu yang sama.

Penurunan bobot selama penyimpanan merupakan akibat utama dari dua proses. Transpirasi merupakan penguapan air dari permukaan kulit buah dan respirasi yaitu pemecahan karbohidrat menjadi energi, CO<sub>2</sub>, dan air. Ketika laju respirasi tinggi, akan terjadi pengurangan cadangan energi dan air dalam buah yang menyebabkan penurunan bobot dan kualitas (Pereira et al., 2018). Penggunaan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> berkontribusi pada penurunan aktivitas respirasi, karena CO<sub>2</sub> berfungsi sebagai inhibitor enzim respirasi seperti oksidase dan dehidrogenase (Li et al., 2022). Aplikasi *mist* generator turut berperan dalam efisiensi distribusi larutan. Kabut halus yang dihasilkan memungkinkan CO<sub>2</sub> dalam *nanobubble* menempel merata pada permukaan kulit tomat, menciptakan kondisi kelembaban mikro yang memperlambat evaporasi air (Martínez et al., 2020). Stabilitas *nanobubble* dalam larutan yang digunakan merupakan salah satu keunggulan signifikan dari metode ini (Lu et al., 2025). Gelembung gas berukuran nano memiliki tekanan internal tinggi dan luas permukaan besar yang meningkatkan transfer massa gas ke dalam jaringan buah. Selain itu, difusi CO<sub>2</sub> dari *nanobubble* ke jaringan buah menjadi lebih efisien karena ukuran gelembung yang sangat kecil mampu menembus lapisan epidermis buah dan mencapai jaringan dalam (Pal & Anantharaman, 2022).

### 3.1.2 Susut Bobot Tomat Selama Masa Simpan

Susut bobot merupakan parameter kritis dalam penilaian mutu fisik buah, karena berkaitan langsung dengan kandungan air dan tingkat kesegaran. Semakin besar nilai susut bobot, semakin banyak air yang hilang, dan hal ini berdampak pada kekerasan tekstur serta penampakan visual buah (Lufu et al., 2020). Dalam studi ini, nilai susut bobot yang rendah pada kelompok *nanobubble* CO<sub>2</sub> mengindikasikan bahwa teknologi ini mampu mempertahankan kadar air buah selama penyimpanan.



**Gambar 4.** Grafik susut bobot tomat selama penyimpanan

Gambar 4 menyajikan grafik susut bobot tomat selama penyimpanan. Tomat yang diperlakukan dengan larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> memperlihatkan kecenderungan susut bobot yang lebih rendah secara signifikan. Hingga hari ke-7, susut bobot pada kedua kelompok meningkat perlahan. Memasuki hari ke-12, kelompok kontrol menunjukkan peningkatan drastis. Data menunjukkan bahwa pada hari ke-14, kelompok kontrol mengalami susut bobot rata-rata sebesar 5%, sedangkan kelompok perlakuan *nanobubble* CO<sub>2</sub> hanya sebesar 1,3%.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Sidik Ragam (ANOVA) terhadap susut bobot

Variabel	F	p value
Perlakuan	8,218	0,005
Waktu penyimpanan	2,845	0,001
Perlakuan*Waktu penyimpanan	1,248	0,256

Hasil analisis ANOVA pada Tabel 1 menunjukkan bahwa baik perlakuan maupun lama penyimpanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan bobot selama penyimpanan. Kolom F menunjukkan nilai uji F, sedangkan p value menunjukkan tingkat signifikansi dengan  $p < 0,05$  menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan. Berdasarkan hasil uji ANOVA (Tabel *Tests of Between-Subjects Effects*), faktor perlakuan menunjukkan

pengaruh signifikan terhadap susut bobot dengan nilai  $F = 8,218$  dan  $p = 0,005$ . Hal ini menegaskan bahwa penggunaan gas  $CO_2$  dalam bentuk *nanobubble* secara nyata mampu menekan laju susut bobot dibandingkan kontrol.

Sementara itu, faktor waktu penyimpanan juga memberikan pengaruh sangat signifikan terhadap susut bobot, dengan nilai  $F = 2,845$  dan  $p = 0,001$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama produk disimpan, semakin besar bobot yang hilang akibat proses metabolik. Namun, interaksi antara perlakuan dan hari penyimpanan tidak signifikan ( $F = 1,248$ ;  $p = 0,256$ ), yang berarti efek perlakuan bekerja secara konsisten sepanjang waktu, tanpa tergantung pada hari tertentu. Lebih lanjut, ketidaksignifikanan interaksi antara perlakuan dan hari penyimpanan menunjukkan bahwa perlakuan *nanobubble*  $CO_2$  bekerja secara konsisten terlepas dari lamanya penyimpanan. Hal ini sesuai dengan pandangan Yousaf et al. (2023) yang menekankan pentingnya kestabilan perlakuan penyimpanan dalam menjaga kualitas produk hortikultura. Keberhasilan metode pascapanen tidak hanya ditentukan oleh jenis perlakuan, tetapi juga oleh konsistensi efektivitasnya selama durasi penyimpanan.

**Tabel 2.** Rerata Susut Bobot (%) Selama Penyimpanan 14 Hari

Hari	M ± SD
0	0±0 <sup>a</sup>
1	0,215±0.053 <sup>a</sup>
2	0,436±0.117 <sup>ab</sup>
3	0,645±0.101 <sup>ab</sup>
4	0,808±0.163 <sup>ab</sup>
5	0,869±0.169 <sup>ab</sup>
6	0,948±0.205 <sup>abc</sup>
7	1,019±0.220 <sup>abc</sup>
8	1,088±0.236 <sup>abc</sup>
9	1,171±0.248 <sup>abc</sup>
10	1,376±0.427 <sup>abc</sup>
11	1,736±1.152 <sup>abcd</sup>
12	2,029±1.739 <sup>bcd</sup>
13	2,634±3.253 <sup>cd</sup>
14	3,201±4.499 <sup>d</sup>

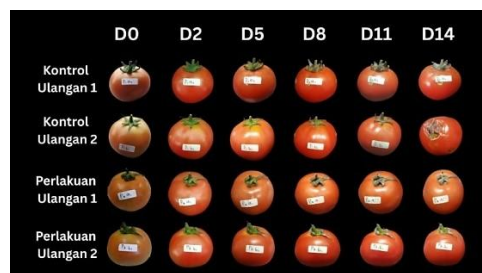
Berdasarkan Tabel 2, angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ .

Hasil uji lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) terhadap faktor hari pada Tabel 2 memperlihatkan adanya pemisahan kelompok secara signifikan ( $p < 0,05$ ). Tabel 2 menampilkan hasil rata-rata susut bobot tomat selama penyimpanan. Hari ke-0 memiliki susut bobot terendah diikuti hari ke-1, hari ke-2, dan seterusnya hingga hari ke-14 yang menunjukkan susut bobot tertinggi (3,2013%). Pola ini menunjukkan tren peningkatan linear dan signifikan dalam susut bobot seiring bertambahnya hari penyimpanan.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi *nanobubble* karbon dioksida dalam bentuk kabut berfungsi sebagai atmosfer pelindung yang memperpanjang masa simpan tomat. Hal ini menjadi kontribusi penting bagi pengembangan teknologi pascapanen yang ramah lingkungan dan ekonomis, serta menambah literatur terbaru terkait aplikasi *nanobubble* untuk produk hortikultura berkulit tipis seperti tomat.

### 3.1.3 Kenampakan visual dan potensi penundaan kematangan

Selain penurunan bobot, parameter lain yang turut diamati secara kualitatif adalah kenampakan visual tomat untuk mengetahui perubahan warna, permukaan kulit, dan gejala pelayuan. Gambar 5 menampilkan perubahan visual tomat selama penyimpanan dari hari ke-0 (D0) hingga hari ke-14 (D14). Terdapat dua kelompok yaitu kontrol (tanpa perlakuan) dan perlakuan (dengan kabut *nanobubble*  $CO_2$ ), masing-masing terdiri dari dua ulangan. Setiap kolom menggambarkan hari pengamatan, sedangkan baris-baris menunjukkan masing-masing perlakuan. Tujuan utama dari dokumentasi ini adalah mengevaluasi efektivitas aplikasi kabut *nanobubble*  $CO_2$  dalam memperpanjang kesegaran dan masa simpan tomat selama proses penyimpanan.



**Gambar 5.** Perubahan visual tomat selama penyimpanan



Warna tomat berkaitan erat dengan likopen yaitu pigmen merah yang terbentuk selama proses pematangan (Yuniastri et al., 2020). Perubahan warna berdasarkan kenampakan visual dapat diamati melalui Gambar 5. Pada hari ke-0, seluruh tomat dari semua perlakuan terlihat masih segar dengan permukaan kulit mulus dan warna dominan oranye kemerahan (pink). Warna ini menandakan bahwa buah berada pada tahap awal kematangan dan belum menunjukkan gejala kerusakan. Memasuki hari ke-5, perbedaan antar perlakuan mulai terlihat lebih jelas. Tomat kontrol semakin merah dan menunjukkan gejala pematangan lanjut, sedangkan tomat perlakuan tetap stabil dengan perubahan warna yang lebih lambat. Perbedaan kecepatan perubahan warna pada tomat menandakan adanya penghambatan proses fisiologis. Pada hari ke-8 (D8), tomat kontrol telah memasuki tahap matang sempurna, dan terlihat mulai ada sedikit tanda pelunakan seperti bintik kuning yang menandakan kerusakan. Selain itu juga mulai muncul jamur berwarna putih pada bagian tangkai tomat. Sebaliknya, tomat pada kelompok perlakuan masih mempertahankan bentuk dan warna yang baik, tanpa tanda-tanda pembusukan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kabut *nanobubble* CO<sub>2</sub> berhasil memperlambat proses pematangan hingga titik ini. Perbedaan yang signifikan mulai terlihat pada hari ke-11 dan terutama ke-14, di mana tomat kelompok kontrol mengalami kerusakan lebih cepat dengan munculnya tanda-tanda pembusukan dan pecah pada kulit. Tomat perlakuan mulai mengalami tanda kerusakan pada hari ke-11 yaitu munculnya bercak putih menandakan pertumbuhan jamur pada bagian tangkai tomat. Pada kelompok kontrol, perubahan warna lebih cepat terjadi sejak hari ke-5, diikuti dengan tanda-tanda degradasi jaringan pada hari ke-11 dan ke-14.

Hasil visual menunjukkan bahwa tomat yang diberi perlakuan kabut *nanobubble* CO<sub>2</sub> tampak lebih segar dan tidak menunjukkan kerusakan besar hingga hari ke-14. Selain mempertahankan penampilan fisik yang lebih baik, tomat pada kelompok perlakuan juga menunjukkan tingkat kematangan yang lebih lambat dibandingkan kontrol. Hal ini terlihat dari warna kulit yang tetap cenderung stabil dan tidak berwarna merah tua atau mengalami keriput yang menandakan penuaan sel. Tomat yang dikabutkan dengan *nanobubble* CO<sub>2</sub> tetap mempertahankan warna oranye kemerahan yang merata tanpa tanda-tanda pelunakan ekstrem. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan kabut *nanobubble* CO<sub>2</sub> mampu menstabilkan fisiologi buah dalam fase penyimpanan, memperlambat transisi ke tahap senesens (penuaan) (Shukri et al., 2021), dan menjaga kualitas visual lebih lama dibandingkan tomat tanpa perlakuan. Perlakuan kabut *nanobubble* CO<sub>2</sub> mengindikasikan kemampuan untuk memperlambat aktivitas mikroba pada permukaan tomat, sehingga menunda proses pelunakan, kerusakan jaringan, dan pembusukan. Penggunaan *nanobubble* karbon dioksida dalam bentuk kabut berperan sebagai pelindung mikro yang mampu menembus permukaan buah dan menciptakan kondisi yang kurang mendukung bagi mikroorganisme pembusuk, sekaligus menurunkan laju metabolisme buah.

Penelitian menunjukkan bahwa paparan CO<sub>2</sub> mampu menghambat pembentukan etilen dan enzim-enzim pematangan, sehingga memperlambat proses degradasi klorofil dan pembentukan pigmen baru pada strawberry dan ceri (Gao et al., 2022; Li et al., 2022). Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) diketahui dapat menekan produksi etilen, yaitu hormon utama pematangan pada buah klimaterik seperti tomat (Islam & Mitcham, 2024). Dalam bentuk *nanobubble*, CO<sub>2</sub> memiliki waktu tinggal yang lebih lama dan jangkauan yang lebih dalam (Pal & Anantharaman, 2022), sehingga lebih efektif dalam menekan produksi etilen dan memperlambat proses pematangan. Dengan demikian, perlakuan CO<sub>2</sub> tidak hanya memperlambat perubahan warna, tetapi juga memperpanjang kenampakan visual yang diinginkan pasar (pink sampai light red), yang memiliki nilai jual lebih tinggi.

### 3.1.4 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan teknologi pascapanen, khususnya dalam penggunaan nanoteknologi berbasis gas untuk memperpanjang umur simpan komoditas hortikultura. Kebaruan utama dari penelitian ini terletak pada penggabungan dua teknologi, yakni larutan *nanobubble* CO<sub>2</sub> dan *mist* generator, yang secara sinergis memberikan perlindungan terhadap penurunan mutu tomat selama penyimpanan. Selain itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat digunakan tanpa perlu pengaturan atmosfer secara kompleks. Hasil penelitian ini juga memperkuat literatur yang menyatakan bahwa bentuk fisik gas memengaruhi efisiensinya dalam aplikasi pascapanen. Risiko kelembapan berlebih yang dapat memicu pertumbuhan mikroba dapat diminimalkan karena sifat kabut yang ringan dan tidak meninggalkan genangan pada permukaan buah (Gidado et al., 2024). Efeknya tidak hanya efisien dari segi aplikasi, tetapi juga minim risiko pembentukan kelembapan berlebih dan pertumbuhan mikroba karena partikel kabut yang halus dan tidak meninggalkan tetesan air berlebih. Studi ini memperluas pemahaman terhadap kombinasi fungsional antara nanoteknologi dan teknologi aplikasi kabut sebagai alternatif baru dalam pengawetan buah segar, dan dapat menjadi bagian dari sistem rantai pasok yang lebih berkelanjutan, efisien, dan bebas residu. Secara keseluruhan, teknologi ini dapat digunakan sebagai strategi yang mendukung keberlanjutan, pengurangan limbah pascapanen, serta perpanjangan distribusi produk hortikultura.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa aplikasi larutan *nanobubble* karbon dioksida yang dikabutkan menggunakan *mist* generator secara signifikan mampu memperlambat penurunan bobot serta mempertahankan kenampakan visual tomat selama penyimpanan lebih dari 8 hari pada suhu ruang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan *nanobubble* CO<sub>2</sub> menghasilkan susut bobot yang lebih rendah dan kenampakan lebih baik dibandingkan kontrol, dengan pola penurunan bobot yang konsisten dan tidak tergantung pada waktu penyimpanan tertentu. Aplikasi teknologi ini



mendukung pemanfaatan larutan *nanobubble* sebagai alternatif pengganti sistem penyimpanan atmosfer termodifikasi yang lebih mahal dan kompleks. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam parameter pengamatan yang hanya mencakup bobot dan kenampakan visual. Tidak dilakukan pengujian lanjutan terhadap tekstur, kandungan nutrisi, maupun parameter mikrobiologis. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk menambahkan parameter tersebut dalam evaluasi sistem aplikasi *mist*. Selain itu, penelitian lanjutan juga sebaiknya mengevaluasi kestabilan larutan *nanobubble* selama penyimpanan dan efek residual CO<sub>2</sub> terhadap kesegaran organoleptik tomat dalam waktu yang lebih lama. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan teknologi pengawetan pascapanen yang efektif, sederhana, dan ramah lingkungan untuk produk hortikultura klimaterik seperti tomat.

## REFERENCES

- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Cefola, M., Capotorto, I., Lippolis, V., Cervellieri, S., Damascelli, A., Cozzolino, R., De Giulio, B., & Pace, B. (2023). CO<sub>2</sub> modified atmosphere packaging: stress condition or treatment to pre serve fruit and vegetable quality? *Adv. Hort. Sci.*, *37*(1), 67–73. <https://doi.org/10.36253/ahsc13838>
- Collins, E. J., Bowyer, C., Tsouza, A., & Chopra, M. (2022). Tomatoes: An Extensive Review of the Associated Health Impacts of Tomatoes and Factors That Can Affect Their Cultivation. In *Biology* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biology11020239>
- Dawad, E., & Karki, A. (2022). A Review On Post-Harvest Handling Practices Of Tomato (*Lycopersicum Esculentum*). *Food and Agri Economics Review*, *2*(2), 100–103. <https://doi.org/10.26480/faer.02.2022.100.103>
- Gao, H., Hu, W., Guan, Y., Ji, Y., Yang, X., & Hou, M. (2022). Respiratory metabolism and quality in postharvest sweet cherries (*Prunus avium* L.) in response to high CO<sub>2</sub> treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(10), e16879. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.16879>
- Gidado, M. J., Gunny, A. A. N., Gopinath, S. C. B., Ali, A., Wongs-Aree, C., & Salleh, N. H. M. (2024). Challenges of postharvest water loss in fruits: Mechanisms, influencing factors, and effective control strategies – A comprehensive review. In *Journal of Agriculture and Food Research*, *17*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101249>
- Islam, M. R., & Mitcham, E. (2024). Extending Raspberry Shelf Life and Maintaining Postharvest Quality with CO<sub>2</sub> Atmospheres. *Horticulturae*, *10*(10). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101092>
- Kargwal, R., Garg, M., Singh, V., Garg, R., & Kumar, N. (2020). Principles of modified atmosphere packaging for shelf life extension of fruits and vegetables: An overview of storage conditions. *International Journal of Chemical Studies*, *8*(3), 2245–2252. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3af.9545>
- Li, H., Yin, Y., Affandi, F. Y., Zhong, C., Schouten, R. E., & Woltering, E. J. (2022). High CO<sub>2</sub> Reduces Spoilage Caused by *Botrytis cinerea* in Strawberry Without Impairing Fruit Quality. *Frontiers in Plant Science*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.842317>
- Lu, J., Jones, O. G., Yan, W., & Corvalan, C. M. (2025). Microbubbles in Food Technology. *Annual Review of Food Science and Technology* Downloaded from [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org). *Guest*. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720>
- Lufu, R., Tsige, A., & Opara, U. (2020). *Characterising water loss in pomegranate fruit cultivars ('Acco', 'Herskawitz' & 'Wonderful') under cold and shelf storage conditions*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-110814/v1>
- Martínez, P., Ruiz, J., Martín, Í., & Lucas, M. (2020). Experimental study of an ultrasonic mist generator as an evaporative cooler. *Applied Thermal Engineering*, *181*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116057>
- Pal, P., & Anantharaman, H. (2022). CO<sub>2</sub>nanobubbles utility for enhanced plant growth and productivity: Recent advances in agriculture. In *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, *61*, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102008>
- Pereira, E., E Silva, R. G. B., Spagnol, W. A., & Silveira Junior, V. (2018). Water loss in table grapes: Model development and validation under dynamic storage conditions. *Food Science and Technology (Brazil)*, *38*(3), 473–479. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.08817>
- Pinela, J., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(10), 2095–2111. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1046547>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. In *Frontiers in Plant Science*, *10*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Safni, S., Rahman, E. F., Deswati, D., & Sy, S. (2021). Perlakuan Ozon dan Sonokimia untuk Degradasi Residu Mankozeb pada Cabe Hijau (*Capsicum Annuum* L.). *Indonesian Journal of Industrial Research*, *11*(2), 103–109. <https://doi.org/10.24960/jli.v11i2.7259.103-109>
- Shan, Y., Li, T., Qu, H., Duan, X., Farag, M. A., Xiao, J., Gao, H., & Jiang, Y. (2023). Nano-preservation: An emerging postharvest technology for quality maintenance and shelf life extension of fresh fruit and vegetable. *Food Frontiers*, *4*(1), 100–130. <https://doi.org/10.1002/fft2.201>



- Shukri, N. M., Zuhartini, N., Muslim, M., Fazeera Kamal, N., & Abdullah, F. (2021). Voltammetric Technique For Determination Of Arsenic Residues In Calcium Carbide Ripened Climacteric Fruits (Teknik Voltammetrik bagi Penentuan Sisa Arsenik dalam Pematangan Buah Klimakterik Menggunakan Kalsium Karbida). In *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 25.
- Thi Phan, K. K., Truong, T., Wang, Y., & Bhandari, B. (2020). Nanobubbles: Fundamental characteristics and applications in food processing. In *Trends in Food Science and Technology*, 95, pp. 118–130. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.019>
- Wahome, P. K. (2019). The Management Of Post-Harvest Losses Of Tomato In Developing Countries. *UNISWA JOURNAL OF AGRICULTURE*, 20, 34. <http://ojs.uniswa.sz/>
- Wang, K., Handa, A. K., & Mattoo, A. K. (2017). *Understanding and improving the shelf life of tomatoes* (pp. 315–342). <https://doi.org/10.19103/as.2016.0007.14>
- Yousaf, A. A., Sarfraz, K., Ahmed, A., Hassan, I., Ali, H., & Mehmood, T. (2023). Storage Stability Assessment of Indigenous Guava Fruits (*Psidium guajava* L.) cv. “Gola” in Response to  $\gamma$ -Irradiation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4546469>
- Yuniastri, R., Atkhiyah, V. M., & Al Faqih, K. (2020). Karakteristik Kerusakan Fisik Dan Kimia Buah Tomat Tomato Physical and Chemical Damage Characteristics. *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 2.
- Zhao, S., Han, X., Liu, B., Wang, S., Guan, W., Wu, Z., & Theodorakis, P. E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, 110867. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110867>