

DAMPAK SUHU PENYIMPANAN TERHADAP MUTU BIOFISIK DAN ORGANOLEPTIK PASCAPANEN KOMODITAS HORTIKULTURA

Widia Pangestika^{*1}, Eka Wijayanti², Rifatul Masrikhiyah³

^{1,3}Program Studi Gizi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

e-mail: ^{*1}widia.pangestika@untirta.ac.id, ²eka.wijayanti@untirta.ac.id,

³rifatul.masrikhiyah@untirta.ac.id

Abstrak

Degradasi mutu komoditas hortikultura segar secara makroskopis bermanifestasi pada perubahan warna dan kenampakan visual, yang menjadi determinan utama dalam penerimaan konsumen. Studi kualitatif deskriptif ini bertujuan memetakan pola penurunan mutu visual pada sepuluh komoditas terpilih (apel, pisang ambon, tomat, mentimun, wortel, paprika merah, jeruk sunkist, jamur tiram, bawang bombay, dan brokoli) selama tiga hari penyimpanan. Perlakuan termal yang dievaluasi mencakup suhu ruang (28°C), refrigerasi (4°C), dan pembekuan (-18°C). Pengamatan diobjektifikasi menggunakan rubrik terstruktur yang meliputi fluktuasi kromatis, integritas epidermis, persentase dehidrasi, dan eksudasi jaringan. Hasil analisis tematik menunjukkan bahwa intervensi refrigerasi secara umum memperlambat laju senesens, namun secara spesifik memicu patogenesis chilling injury berupa diskolorasi asimetris pada komoditas tropis seperti pisang ambon. Di sisi lain, metode pembekuan efektif mempertahankan stabilitas pigmen awal, tetapi induksi kristal es memicu kerusakan mekanis yang berujung pada eksudasi berair (drip loss) parah pasca-pencairan (thawing), khususnya pada matriks berkadar air tinggi. Sementara itu, suhu ruang mempercepat dehidrasi osmotik dan pencokelatan enzimatis ekstrem, dengan tingkat kerusakan paling masif pada jamur tiram. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengamatan indikator visual yang dilandaskan pada mekanisme biofisik termal sangat aplikatif untuk diadopsi sebagai instrumen pengendalian mutu (quality control) dalam sistem manajemen industri pangan.

Kata kunci- Penyimpanan Suhu Rendah; Pencokelatan Enzimatis; Chilling Injury; Kerusakan Beku-Cair; Mutu Visual.

Abstract

Quality degradation in fresh horticultural products macroscopically manifests in color changes and visual appearance, serving as primary determinants for consumer acceptance. This qualitative descriptive study aimed to map the visual deterioration patterns of ten selected commodities (apple, banana, tomato, cucumber, carrot, red bell pepper, orange, oyster mushroom, onion, and broccoli) over three days of storage. The thermal treatments evaluated included room temperature (28°C), refrigeration (4°C), and freezing (-18°C). Observations were objectified using a structured rubric encompassing chromatic fluctuation, epidermal integrity, dehydration percentage, and tissue exudation. Thematic analysis revealed that refrigeration generally decelerated the senescence rate but specifically triggered chilling injury pathogenesis, such as asymmetrical discoloration in tropical commodities like bananas. Conversely, freezing effectively preserved initial pigment stability, yet ice crystal induction caused mechanical damage resulting in severe drip loss post-thawing, particularly in high-moisture matrices. Meanwhile, ambient temperature accelerated osmotic dehydration and extreme enzymatic browning, with the most massive deterioration observed in oyster mushrooms. Based on these findings, it is

Submitted: Desember 2025, Accepted: Januari 2026, Published: Januari 2026

ISSN: 2775-247X (online), Website: <http://jurnal.umus.ac.id/index.php/jtfp>

concluded that visual indicator observations grounded in thermal biophysical mechanisms are highly applicable as a practical quality control instrument in food industry management systems.

Keywords- *Low-Temperature Storage; Enzymatic Browning; Chilling Injury; Freezing Damage; Visual Quality.*

1. PENDAHULUAN

Perubahan warna dan kenampakan visual merupakan indikator yang paling cepat digunakan untuk mendeteksi degradasi mutu pada buah dan sayur segar, karena atribut ini memberikan pengaruh langsung terhadap persepsi kesegaran dan Keputusan dari konsumen. Pascapanen memberikan beberapa pengaruh terhadap mutu produk hortikultura seperti perubahan visual dapat merefleksikan proses biokimia dan fisik seperti pencokelatan enzimatis, degradasi pigmen, kehilangan air, serta kerusakan jaringan akibat stres suhu. Strategi penyimpanan suhu rendah melalui pendinginan dan pembekuan, umum diterapkan untuk memperlambat penuaan, tetapi responsnya bersifat spesifik pada komoditas sehingga perlu dibedakan berdasarkan komoditas yang digunakan. Pendekatan kualitatif berbasis indikator observasi memungkinkan pemetaan tersebut dilakukan secara praktis, terutama untuk konteks layanan pangan dan rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan studi kualitatif pada berbagai komoditas yang disimpan pada suhu dingin dan beku untuk menilai perubahan warna dan kenampakan sebagai indikator penurunan mutu.

Secara biokimia, perubahan warna dapat dipicu oleh pencokelatan enzimatis maupun perubahan jalur degradasi pigmen selama penuaan dan stres penyimpanan (1)(2). Pencokelatan enzimatis secara umum dipengaruhi oleh oksidasi senyawa fenolik yang dikatalisis polifenol oksidase, sehingga menghasilkan pigmen gelap yang menurunkan kecerahan dan kesan segar produk (3). Perubahan warna juga ditentukan oleh degradasi klorofil dan pembentukan turunannya seperti feofitin yang menggeser warna menjadi kuning-kecokelatan (4). Pada komoditas yang memiliki warna merah-oranye, stabilitas karotenoid cenderung lebih baik, namun tetap rentan terhadap oksidasi, perubahan bagan, dan kerusakan membran yang menurunkan kilap permukaan (5). Mekanisme tersebut berjalan bersamaan dengan kehilangan air dan perubahan struktur jaringan, evaluasi visual perlu menangkap beberapa dimensi mutu secara simultan (6)(7). Pendekatan indikator visual terstruktur memungkinkan penilaian komparatif yang konsisten antara perubahan warna, permukaan, dehidrasi, dan kerusakan tekstur yang tampak (8).

Suhu rendah merupakan salah satu cara yang digunakan untuk menekan respirasi, memperlambat reaksi enzimatis, dan menghambat pertumbuhan mikroba pada bahan segar (9). Meski demikian, pendinginan sekitar 4°C tidak selalu optimal bagi komoditas tropis karena dapat memicu *chilling injury* yang menyebabkan penggelapan, *pitting*, perubahan warna tidak merata, dan gangguan pematangan (10). Di sisi lain, pembekuan sekitar -18°C memperpanjang masa simpan, tetapi pembentukan kristal es dan rekristalisasi dapat merusak mikrostruktur, meningkatkan *drip loss*, dan menurunkan mutu visual setelah pencairan (11). Secara teknologi proses, efek beku-cair sangat dipengaruhi oleh laju pembekuan, fluktuasi suhu, serta karakteristik jaringan dan kadar air komoditas (5). Oleh sebab itu, pemilihan suhu perlu didasarkan pada toleransi spesifik komoditas dan tujuan penggunaan, misalnya konsumsi segar dibandingkan dengan bahan olahan (12). Kerangka penetapan visual yang mengaitkan gejala permukaan dengan mekanisme stres dingin dan beku-cair dapat membantu menetapkan rekomendasi penyimpanan yang lebih presisi (13).

Penelitian terkait pascapanen paling banyak menggunakan penekanan parameter instrumental seperti L*a*b*, kekerasan, atau analisis pigmen, tetapi pendekatan tersebut tidak selalu *feasible* untuk praktik lapangan dan pembelajaran laboratorium dasar (8)(6). Di sisi lain, observasi visual kualitatif yang terstandarisasi dapat memberikan informasi awal yang penting mengenai degradasi mutu, terutama ketika dikombinasikan dengan dokumentasi foto dan konsep

perbedaan suhu (7). Hal ini secara umum, masih terbatas hanya pada kajian komparatif yang memetakan respon visual berbagai komoditas dalam satu rancangan sederhana yang meniru praktik penyimpanan harian (12)(11). Penelitian ini mengisi kebutuhan tersebut dengan mengevaluasi sepuluh komoditas pada tiga suhu selama tiga hari, kemudian mengkategorikan temuan ke dalam tema degradasi utama. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan indikator dan ringkasan konsep yang dapat direplikasi sebagai alat skrining mutu visual dan dasar pengambilan keputusan pengawetan skala kecil. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi pola perubahan warna dan kenampakan visual, serta menafsirkan implikasi teknologi pangan terkait *chilling injury*, kehilangan air, dan kerusakan beku-cair pada tiap komoditas.

Secara operasional, penelitian ini menjawab dua pertanyaan utama: bagaimana pola perubahan warna dan kenampakan visual pada komoditas berbeda di bawah pendinginan dan pembekuan, serta mekanisme dominan yang menjelaskan pola tersebut. Output evaluasi ditunjukkan pada perubahan warna, kilap permukaan, dehidrasi/keriput, serta indikasi kerusakan beku-cair yang tampak, karena aspek tersebut paling sering digunakan konsumen sebagai indikator kesegaran (8)(6). Penggunaan indikator terstruktur, perbandingan antar komoditas dapat dilakukan tanpa memerlukan instrumen khusus, sehingga cocok untuk konteks pembelajaran dan skrining lapangan. Selanjutnya, hasil disajikan dalam bentuk konsep perbedaan suhu untuk memudahkan identifikasi suhu yang relatif lebih menguntungkan atau berisiko pada tiap komoditas. Pendekatan ini juga membantu menempatkan temuan visual pada kerangka mekanistik, misalnya *browning* enzimatis, degradasi klorofil, *chilling injury*, dan kerusakan beku-cair.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain observasional dengan pendekatan kualitatif deskriptif untuk mengevaluasi perubahan warna dan kenampakan visual selama penyimpanan pada rezim suhu berbeda. Sepuluh komoditas dipilih untuk merepresentasikan variasi pigmen dan struktur jaringan, yaitu apel, pisang ambon, tomat, mentimun, wortel, paprika merah, jeruk sunkist, jamur tiram, bawang bombay, dan brokoli. Sampel dipilih dalam kondisi layak konsumsi, tanpa kerusakan mekanis berat, dan ukuran relatif seragam untuk mengurangi variasi awal yang berlebihan. Perlakuan suhu meliputi suhu ruang sekitar 28°C, pendinginan sekitar 4°C, dan pembekuan sekitar -18°C selama tiga hari, sesuai praktik penyimpanan yang lazim pada skala rumah tangga dan layanan pangan. Observasi dilakukan pada hari ke-0 hingga hari ke-3 pada jam yang relatif konsisten, kemudian dicatat pada lembar observasi untuk menjaga keterbandingan. Kerangka interpretasi temuan merujuk pada konsep *discoloration*, *chilling injury*, kehilangan air, dan kerusakan beku-cair yang relevan dalam literatur pascapanen (12)(11)(8)(6)(7).

Instrumen pengamatan berupa indikator visual terstruktur yang mencakup perubahan warna, kilap dan kondisi permukaan, tanda dehidrasi atau keriput, serta indikasi pelunakan dan eksudat, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Setiap sampel didokumentasikan dengan foto untuk mendukung transparansi data kualitatif. Selain indikator tersebut, perubahan massa dicatat sebagai indikator pendukung untuk menjelaskan kehilangan air dan potensi keriput, dengan memperhatikan kemungkinan bias akibat kondensasi pada suhu rendah. Untuk pembekuan, pencairan dilakukan secara terkontrol sebelum observasi akhir untuk meminimalkan variasi efek *thawing* yang dapat memperkuat eksudat dan nekrosis (13). Upaya standar ini menjadi penting karena morfologi kristal es dan prosedur *thawing* dikenal berpengaruh terhadap tampilan produk beku (11). Seluruh prosedur dilakukan tanpa perlakuan kimia tambahan agar menggambarkan perubahan visual yang dipengaruhi oleh suhu dan kondisi penyimpanan dasar.

Analisis data dilakukan melalui penyusunan peristiwa yang berbeda (komoditas × suhu × waktu) dari catatan indikator dan dokumentasi foto, kemudian dikategorikan menjadi tiga topik degradasi utama. Topik yang digunakan meliputi pencokelatan enzimatis, *discoloration* pigmen hijau, *chilling injury*, kerusakan beku-cair, dan kehilangan air, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4. Pendekatan tematik dipilih untuk meningkatkan koherensi interpretasi lintas komoditas sekaligus menjaga keterlacakan dari data mentah ke simpulan (6)(7). Hasil temuan disajikan

sebagai deskripsi naratif yang didukung oleh ringkasan konsep pada peristiwa tersebut (Tabel 2) dan indikator pendukung susut berat (Tabel 3) untuk memberikan konteks teknologi pangan. Selanjutnya, implikasi praktis dibahas dengan mengaitkan indikator visual dengan mekanisme dominan yang didukung literatur, sehingga rekomendasi penyimpanan menjadi berbasis evidensi.

Untuk meningkatkan kredibilitas pengamatan, indikator disosialisasikan terlebih dahulu kepada seluruh pengamat dan contoh perwujudan indikator disepakati sebelum observasi rutin dilakukan. Konsistensi pencatatan dijaga melalui penggunaan istilah yang seragam dan penentuan waktu observasi yang relatif sama setiap hari. Dokumentasi foto berfungsi sebagai triangulasi visual terhadap catatan indikator dan memudahkan persamaan pendapat ketika terjadi perbedaan interpretasi. Pada komoditas yang menunjukkan kondensasi, catatan khusus dibuat agar perubahan tampilan tidak salah diinterpretasikan sebagai eksudat akibat kerusakan jaringan. Langkah-langkah ini relevan karena kondisi suhu rendah dapat menghasilkan artefak visual yang mempengaruhi penilaian kualitas jika tidak dikontrol (11)(13). Dengan demikian, data kualitatif yang dihasilkan memiliki keterlacakan dan dapat direplikasi pada praktikum teknologi pangan dengan sumber daya minimal (8)(6).

Validitas isi indikator didasarkan pada kecukupan indikator untuk menangkap dimensi mutu visual yang paling berpengaruh terhadap penerimaan konsumen, yaitu warna, kilap permukaan, dehidrasi, dan kerusakan tekstur yang tampak. Pada tahap analisis, pengelompokan topik dilakukan dengan menggunakan kode yang merujuk pada mekanisme pascapanen yang sesuai, sehingga interpretasi tidak bersifat spekulatif semata (1). Pemilihan tema *chilling injury* dan *freeze-thaw damage* didasarkan pada literatur yang menjelaskan gejala visual khas pada komoditas tertentu di bawah pendinginan dan pembekuan (12)(11). Penggunaan susut berat sebagai indikator pendukung membantu menghubungkan gejala keriput dan penurunan kilap dengan proses kehilangan air yang telah banyak diteliti (6). Indikator utama, foto, dan indikator pendukung diharapkan meningkatkan ketajaman inferensi kualitatif dalam konteks teknologi pangan terapan (8). Meski demikian, studi lanjutan tetap diperlukan untuk memvalidasi temuan melalui pengukuran instrumental dan pengendalian variabel proses yang lebih ketat.

Tabel 1. Definisi operasional indikator dan penampakan visual

Indikator	Definisi operasional	Penampakan visual
Perubahan warna	Perubahan persepsi warna asli komoditas pada permukaan atau jaringan yang terpotong/terbuka.	Apel/jamur: kecokelatan; brokoli: memudar kehijauan; pisang: bintik gelap.
Integritas permukaan	Perubahan bentuk atau kerusakan permukaan yang menunjukkan stres mekanis/termal/fisiologis.	Pitting pada buah peka dingin; retak; memar; jaringan kolaps pasca beku-cair.
Gejala kehilangan air	Tanda visual dehidrasi akibat transpirasi/respirasi yang mengurangi turgor jaringan.	Mentimun/tomat: keriput; jamur: menyusut; permukaan kusam.
Eksudat/drip	Cairan keluar di permukaan akibat kerusakan membran, pembekuan-pencairan, atau pembusukan.	Permukaan berair pada sayuran beku-cair; lendir pada komoditas membusuk.

Sumber: (8)(6)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, perlakuan tiga suhu menunjukkan karakter degradasi mutu visual yang berbeda dan dapat diinterpretasikan melalui interaksi proses fisiologis, kehilangan air, serta kerusakan jaringan(8). Pada suhu ruang, penampakan keriput berlangsung lebih cepat karena respirasi dan reaksi oksidatif tidak tertekan, sehingga perubahan warna dan penurunan kilap lebih

mudah teramati(1). Pada pendinginan 4°C, banyak komoditas memperlihatkan perlambatan perubahan visual, namun efek ini tidak universal karena komoditas tertentu berpotensi mengalami stres dingin yang memunculkan gejala khas pada permukaan(10). Pada pembekuan -18°C, laju kerusakan biokimia umumnya menurun, tetapi pembentukan kristal es dapat mengubah mikrostruktur sehingga gejala seperti translusensi dan eksudat berair tampak setelah pencairan(11)(13). Perbedaan-perbedaan tersebut memperkuat kebutuhan pendekatan evaluasi yang memadukan indikator warna, permukaan, dan tekstur tampak agar interpretasi tidak bergantung pada satu parameter saja(6). Dengan demikian, bagan kualitatif dengan perbedaan komoditas yang disajikan dapat berfungsi sebagai alat skrining untuk memilih suhu berdasarkan risiko dominan, yaitu senesens, *chilling injury*, atau kerusakan beku-cair.

Kinetika Pencoklatan Enzimatis dan Senesens Pigmen pada Suhu Ruang

Kenampakan pencoklatan paling relevan pada komoditas dengan aktivitas polifenol oksidase dan ketersediaan substrat fenolik yang memadai, terutama ketika jaringan terluka atau terpapar oksigen(3). Secara mekanis, disrupsi membran meningkatkan pertemuan enzim dan substrat, lalu menghasilkan pigmen gelap yang menurunkan kecerahan dan kesan segar(2). Pada studi ini, perubahan ke arah kecokelatan dan penurunan kilap lebih cepat muncul pada suhu ruang, sejalan dengan peningkatan laju reaksi oksidatif pada suhu lebih tinggi(1). Sebaliknya, pendinginan cenderung menunda pencoklatan karena menurunkan kinetika reaksi, meskipun tingkat keberhasilan bergantung pada komoditas dan kondisi permukaan(6). Untuk sayuran hijau, perubahan warna lebih tepat dibaca sebagai degradasi klorofil dan jalur *discoloration* yang menggeser hue ke kuning-kecokelatan, bukan semata pencoklatan fenolik(4). Implikasinya, interpretasi perubahan warna perlu membedakan browning enzimatis versus senesens pigmen agar rekomendasi penanganan pascapanen menjadi tepat sasaran (8).

Transisi Fase Lipid dan Patogenesis Chilling Injury pada Refrigerasi (4°C)

Pendinginan pada sekitar 4°C merupakan praktik umum dalam rantai dingin, tetapi beberapa komoditas tropis memiliki ambang toleransi lebih tinggi sehingga rentan mengalami *chilling injury* (9). *Chilling injury* dapat muncul sebagai penggelapan kulit, pitting, bercak tidak merata, dan penurunan mutu visual meskipun laju pembusukan mikrobiologis menurun(10). Literatur juga menunjukkan bahwa stres dingin berkaitan dengan disfungsi membran, peningkatan spesies oksigen reaktif, serta ketidakteraturan metabolisme yang bermuara pada perubahan warna dan tekstur(12). Pada pisang, mekanisme mitigasi *chilling injury* melalui regulasi jalur antioksidan telah banyak dikaji, menegaskan bahwa gejala visual merupakan konsekuensi fisiologis yang dapat dimodulasi oleh perlakuan tertentu(14). Penelitian ini menguatkan prinsip bahwa pendinginan efektif hanya bila selaras dengan toleransi komoditas dan kondisi prapanen/pascapanen. Oleh sebab itu, rekomendasi penyimpanan 4°C harus bersifat selektif, terutama untuk komoditas tropis, dan dapat dipadukan dengan strategi mitigasi bila pendinginan tidak dapat dihindari.

Kerusakan Biofisik Beku-Cair (*Freeze-Thaw Damage*) pada Suhu (-18°C)

Pada suhu -18°C, pembekuan berpotensi menekan aktivitas mikroba dan memperpanjang masa simpan, namun kualitas visual pasca-*thawing* sangat ditentukan oleh morfologi kristal es dan kerusakan mikrostruktur(11). Kristal es yang besar dan rekristalisasi selama penyimpanan dapat merusak membran dan dinding sel, sehingga setelah pencairan muncul *drip loss*, translusensi, dan kolaps tekstur yang menurunkan penampilan segar(5). Regulasi pembentukan es melalui pengaturan laju pembekuan dan stabilisasi menjadi hal yang sangat penting untuk mempertahankan mutu produk beku, terutama pada komoditas berkadar air tinggi(13). Selain itu, perlakuan pendahuluan seperti blansir atau pre-cooking pada sayuran hijau telah dilaporkan dapat mempengaruhi stabilitas warna dan perubahan klorofil selama pembekuan dan pemanasan lanjutan(4)(8). Kenampakan berupa eksudat berair dan pelunakan pada beberapa komoditas dalam studi ini sejalan dengan konsep kerusakan beku-cair yang dominan pada jaringan berair. Implikasinya, pembekuan lebih tepat ditujukan untuk bahan yang akan diolah

lebih lanjut, atau memerlukan kontrol proses yang lebih baik bila targetnya mempertahankan penampakan segar.

Tabel 2. Matriks Temuan Konseptual Penurunan Kualitas Berdasarkan Suhu

Komoditas	28°C	4°C	-18°C
Apel	Risiko pencokelatan pada jaringan terluka; permukaan dapat kusam.	Perubahan melambat; potensi bercak ringan bila ada stres dingin.	Pasca cair: drip dan jaringan lebih lunak/gelap.
Pisang	Pematangan cepat; bercak gelap meningkat.	Potensi gejala chilling injury pada kulit; perubahan warna tidak merata.	Jaringan kolaps pasca cair; permukaan berair.
Jeruk	Kilap menurun bila kehilangan air; perubahan warna relatif lambat.	Kualitas relatif stabil bila kelembapan terjaga.	Drip pasca cair; tekstur menurun.
Tomat	Pematangan cepat; pelunakan dan keriput meningkat.	Pematangan tertahan; pada tomat hijau risiko chilling injury.	Jaringan pecah/berair pasca cair.
Mentimun	Keriput/layu cepat akibat water loss.	Risiko pitting pada komoditas peka dingin.	Drip dan jaringan transparan pasca cair.
Wortel	Permukaan dapat mengering; warna relatif stabil.	Stabil bila tidak terjadi dehidrasi.	Lembek/drip pasca cair.
Bawang merah	Kulit mengering; sprouting mungkin terjadi.	Perubahan melambat; sprouting dapat tertahan.	Tekstur menurun bila dicairkan.
Brokoli	Kehijauan memudar; layu meningkat.	Stabil relatif lebih baik, tetapi kuning dapat muncul bila lama.	Pasca cair: jaringan lunak; warna hijau menurun.
Paprika merah	Keriput dan kilap menurun.	Relatif stabil; potensi pitting pada komoditas peka.	Drip pasca cair; tekstur kolaps.
Jamur tiram	Pencokelatan cepat; lendir bila pembusukan.	Perubahan melambat namun tetap peka pencokelatan.	Drip pasca cair; permukaan lebih gelap.

Keterangan: deskripsi bersifat kualitatif berdasarkan pengamatan visual selama tiga hari; temuan dipengaruhi oleh tingkat kematangan awal dan kondisi kemasan/kelembapan

Dinamika Defisit Tekanan Uap dan Laju Kehilangan Air

Kehilangan air pascapanen merupakan pendorong utama penurunan mutu visual melalui keriput, penyusutan, dan penurunan kilap permukaan, terutama pada komoditas dengan kulit tipis atau luas permukaan tinggi(7). Transpirasi dan gradien tekanan uap air selama penyimpanan dapat menyebabkan penurunan turgor, mempercepat kelayuan, dan mempengaruhi persepsi tekstur meski belum terjadi pembusukan(6). Pada suhu ruang, kehilangan air cenderung lebih cepat, sedangkan pada suhu rendah laju transpirasi menurun namun risiko kondensasi meningkat sehingga interpretasi susut berat perlu dilakukan dengan hati-hati (15). Literatur tentang *discoloration* juga menekankan bahwa perubahan permukaan dan kekasaran dapat memperkuat kesan perubahan warna karena perubahan reflektansi cahaya(8). Karena itu, strategi pengemasan dan kontrol kelembapan menjadi komponen penting yang berjalan paralel dengan pengaturan suhu, terutama untuk mencegah keriput dan menjaga kilap. Dalam konteks layanan pangan skala

Dampak Suhu Penyimpanan Terhadap Mutu Biofisik Dan Organoleptik Pascapanen Komoditas Holtikultura (Pangestika W

kecil, penerapan wadah tertutup dengan ventilasi mikro dan kontrol kelembapan sederhana dapat menjadi solusi praktis untuk menurunkan kehilangan mutu visual (16).

Secara aplikatif, penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan awal untuk memilih penyimpanan berdasarkan risiko dominan pada setiap komoditas, yaitu *browning*, *chilling injury*, kehilangan air, atau kerusakan beku-cair(11). Untuk komoditas yang rentan pencokelatan, prioritas intervensi adalah dengan meminimalkan rusaknya jaringan, mengurangi ekspos oksigen, dan menjaga suhu pendinginan yang stabil agar reaksi oksidatif tertekan(1)(3). Untuk komoditas tropis yang sensitif dingin, dalam penyimpanan pendinginan perlu mempertimbangkan ambang suhu kritis dan potensi *chilling injury*, sehingga penyimpanan dapat digantikan ke suhu menengah bila memungkinkan(9). Untuk bahan berkadar air tinggi yang ditujukan sebagai produk beku, kualitas dapat ditingkatkan melalui pengendalian pembekuan dan penanganan *thawing* untuk mengurangi *drip loss* dan kolaps jaringan(13). Selain itu, pengendalian kelembapan dan kemasan berperan penting untuk menjaga kilap permukaan dan menekan keriput yang sering menjadi pemicu penolakan konsumen(6)(7). Dengan mengintegrasikan indikator visual sederhana dan pengetahuan mekanistik, strategi pengawetan dapat diarahkan untuk mengurangi kehilangan pascapanen dan mendukung efisiensi pengelolaan pangan.

Tabel 3. Data Komparasi Indeks Rerata Penyusutan Relatif Bobot

Jenis Pangan	28°C (Suhu Ruang)	4°C (Pendinginan)	-18°C (Pembekuan)
Apel	0,0086 ± 0,01725	-0,00925 ± 0,0185	0,0017 ± 0,05469908592
Pisang Ambon	0,0075 ± 0,015	0,01 ± 0,0119	0,0063 ± 0,0125
Tomat	0,033 ± 0,02616613588	0,0258 ± 0,0515	-0,021 ± 0,0613351449
Mentimun	0,000 ± 0	0,005 ± 0,005773502692	0,0168 ± 0,02049997967
Wortel	0,0603 ± 0,05169444683	0,0431 ± 0,06525902236	0,0345 ± 0,0487432303
Paprika Merah	0,0713 ± 0,05468924331	0,0000 ± 0	0,0723 ± 0,04941342598
Jeruk Sunkist	0,000 ± 0	0,005 ± 0,01	-0,0100 ± 0,02
Jamur Tiram	0,1875 ± 0,2393567769	0,0000 ± 0	0,2500 ± 0,2886751346
Bawang Bombay	0,0174 ± 0,02225584193	0,02725 ± 0,03479813213	0,1113 ± 0,1882248567
Brokoli	0,0208 ± 0,0415	0,02775 ± 0,0555	0,0208 ± 0,0415

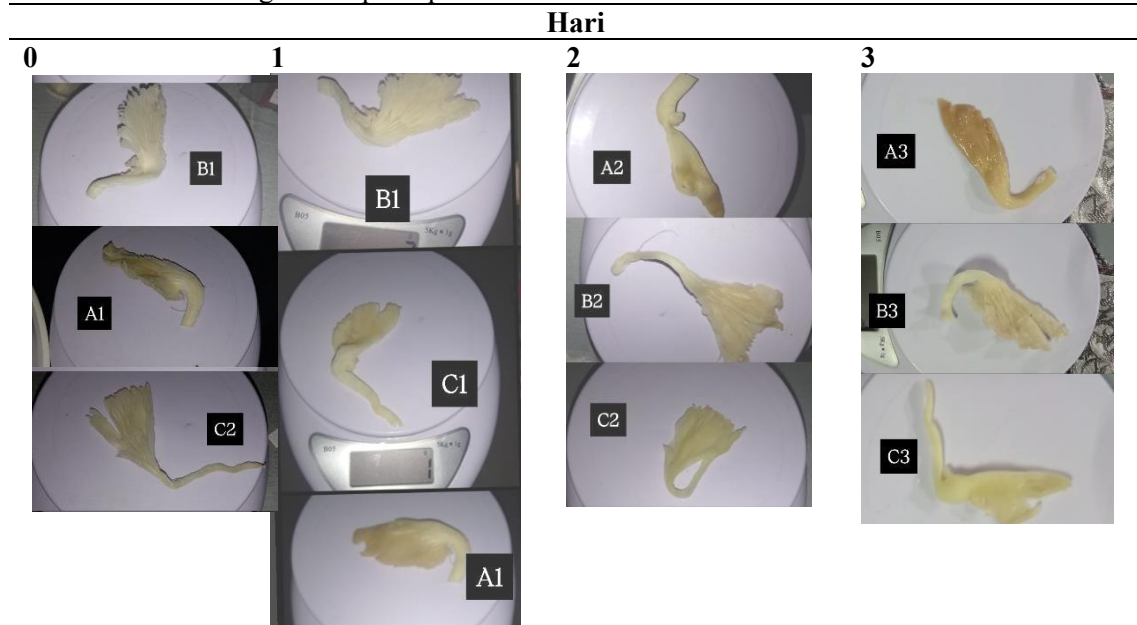
Sebagai indikator pendukung, susut berat relatif memberikan konteks terhadap munculnya keriput, penurunan kilap, dan penyusutan jaringan yang teramati pada beberapa komoditas(7). Nilai susut yang lebih tinggi biasanya menggambarkan transpirasi dan kehilangan air, sedangkan nilai mendekati nol atau negatif dapat terjadi karena kondensasi atau penempelan air pada permukaan sampel selama penimbangan(6). Fenomena kondensasi ini perlu dipertimbangkan terutama pada kondisi pendinginan dan pembekuan ketika kelembapan mikro di sekitar sampel berubah(11). Karena itu, interpretasi susut berat pada studi ini bersifat komplementer dan tidak menggantikan pengukuran kelembapan relatif atau kadar air. Walaupun demikian, pola susut berat tetap sejalan dengan literatur yang menempatkan kehilangan air sebagai faktor kritis penurunan mutu visual pada komoditas segar (17). Pada penelitian lanjutan, parameter ini dapat diperkuat melalui kontrol kelembapan dan desain kemasan untuk memisahkan efek suhu dan efek transpirasi(8).

Tabel 4. Matriks Kode Tematik, Indikator Visual, dan Mekanisme Dominan yang diacu dalam Interpretasi

Tema/Kode	Indikator visual kunci	Mekanisme dominan (ringkas)
-----------	------------------------	-----------------------------

Browning enzimatis	Bercak coklat pada area luka; warna menggelap; kilap menurun	Aktivitas PPO dan oksidasi fenolik meningkat saat membran terganggu(1)(3)
Discoloration pigmen hijau	Kehijauan berkurang; menguning-kecokelatan; permukaan kusam	Degradasi klorofil dan jalur discoloration pada sayuran(12)(9)
Chilling injury	Penggelapan tidak merata; pitting; tampilan menua pada suhu dingin	Disfungsi membran dan stres oksidatif pada suhu di bawah ambang kritis(12)(10)
Freeze-thaw damage	Eksudat berair; translusensi; kolaps tekstur setelah pencairan	Kristal es dan rekristalisasi merusak mikrostruktur; drip loss meningkat(11)(13)
Water loss/dehidrasi	Keriput; layu; penyusutan; kilap menurun	Transpirasi dan gradien uap air menurunkan turgor jaringan(6)(7)

Gambar 1. Perbandingan Tampilan pada Suhu 28°C untuk Komoditas Jamur Tiram



Keterangan :
 A = Kontrol
 B = Pendinginan
 C = Pembekuan

Kesimpulan : Pada akhir pengamatan jamur tiram suhu ruang mengalami perubahan warna menjadi coklat serta kenampakannya berlendir dan lunak. Pada pendinginan sedikit mengalami perubahan warna. Pada pembekuan sedikit mengalami perubahan warna.

Gambar 2. Perbandingan Chilling Injury Pisang Ambon pada Suhu 4°C dan 28°C

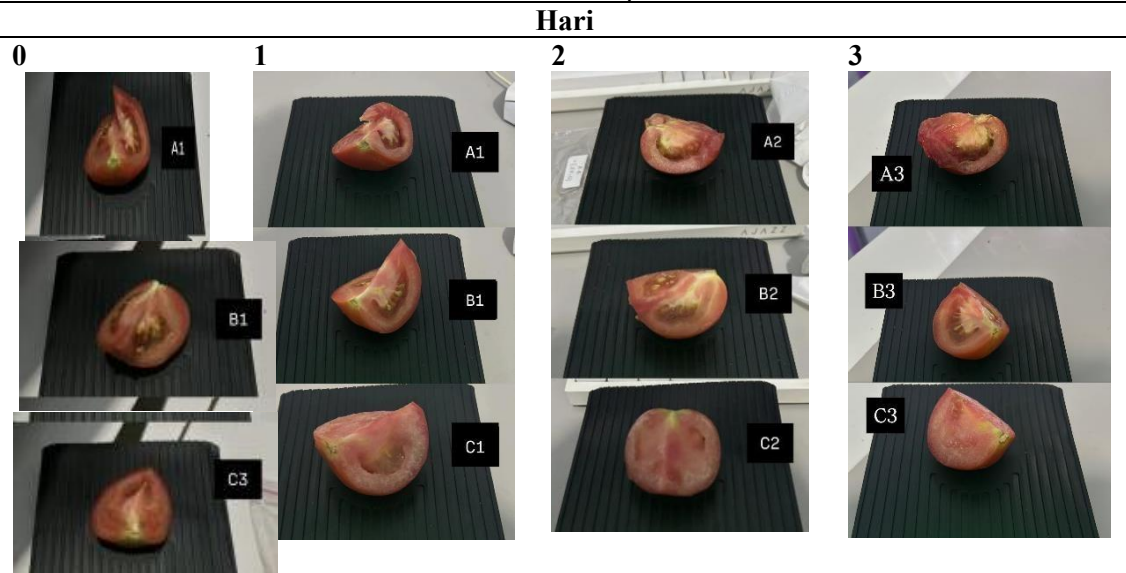
Hari			
0	1	2	3



Keterangan :
 A = Kontol
 B = Pendinginan
 C = Pembekuan

Kesimpulan : Pada akhir pengamatan pisang suhu ruang mengalami perubahan warna menjadi sedikit coklat. Pada pendinginan sedikit mengalami perubahan warna dan agak keriput. Pada pembekuan mengalami perubahan warna menjadi coklat gelap.

Gambar 3. Kerusakan Beku Cair Tomat Setelah Pencairan pada Suhu -18°C



Keterangan :
 A = Kontol
 B = Pendinginan
 C = Pembekuan

Kesimpulan : Pada akhir pengamatan tomat suhu ruang mengalami perubahan warna menjadi hitam, keriput, dan berlendir lunak. Pada pendinginan sedikit mengalami perubahan warna dan agak keriput. Pada pembekuan tidak terlihat perbedaan.

Keterbatasan penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan observasi kualitatif sehingga hasilnya terutama menggambarkan pola visual pada kondisi uji dan tidak dimaksudkan sebagai inferensi kausal yang kuat. Pengukuran instrumental seperti nilai $L^*a^*b^*$, kekerasan, kadar air, atau analisis pigmen tidak dilakukan, sehingga validasi kuantitatif terhadap rubrik visual belum tersedia pada naskah ini. Selain itu, faktor kemasan, kelembapan relatif, dan prosedur pencairan dapat mempengaruhi kondensasi serta eksudat, yang pada gilirannya mempengaruhi interpretasi perubahan visual dan susut berat. Variasi fisiologis awal antarsampel, termasuk tingkat kematangan dan riwayat prapanen, juga berpotensi memodulasi respons terhadap pendinginan maupun pembekuan. Meski demikian, pendekatan matriks lintas-komoditas yang digunakan tetap bermanfaat sebagai skrining awal untuk menetapkan hipotesis mekanistik dan merancang pengukuran lanjutan. Penelitian berikutnya disarankan menambahkan instrumentasi warna, tekstur, dan analisis kelembapan, serta mengevaluasi strategi mitigasi chilling injury dan kerusakan beku-cair secara eksperimental.

4. KESIMPULAN

Perubahan warna dan kenampakan visual terbukti sensitif untuk mendeteksi degradasi mutu buah dan sayur selama penyimpanan pada rezim suhu yang berbeda. Pendinginan 4°C umumnya memperlambat perubahan visual, tetapi efektivitasnya bergantung pada toleransi komoditas dan berpotensi memicu chilling injury pada komoditas tropis tertentu. Pembekuan -18°C dapat menekan kerusakan biokimia jangka pendek, namun gejala beku-cair seperti eksudat berair dan kolaps jaringan dapat menurunkan mutu visual setelah pencairan. Pada suhu ruang, pencokelatan dan penurunan kilap permukaan cenderung lebih cepat, terutama pada komoditas dengan aktivitas PPO atau kerentanan kehilangan air yang tinggi. Rubrik visual dan matriks temuan yang disajikan dapat direplikasi sebagai alat skrining praktis untuk memilih strategi penyimpanan spesifik komoditas pada skala rumah tangga maupun layanan pangan. Integrasi pemahaman mekanisme discoloration, kehilangan air, dan kerusakan beku-cair diharapkan berkontribusi pada pengurangan kehilangan pascapanen dan peningkatan efisiensi manajemen pangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tilley A, Mchenry MP, Anwar J, Solah V. Current Research in Food Science Enzymatic browning: The role of substrates in polyphenol oxidase mediated browning. *Curr Res Food Sci.* 2023;7(March):100623. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100623>
2. Wang C, Meng L, Zhang G, Yang X, Pang B, Cheng J, et al. Unraveling crop enzymatic browning through integrated omics. 2024;(February):1–8.
3. Liang Y. Inhibition of polyphenol oxidase for preventing browning in edible mushrooms: A review. 2024;(August):6796–817.
4. Gong W, Li X, Hu J, Hu W, Zhang N, Chen X. Insight into the impact of pre-cooking and freezing on the colour stability of pakchoi during thermal processing: A study on chlorophyll a and organic acid changes. *Food Chem [Internet].* 2025;481(December 2024):144065. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144065>
5. Markowska J, Drabent A, Grzybowska N. Quality Assessment and Physicochemical Characteristics of Commercial Frozen Vegetable Blends Available on the Polish Market. 2026;
6. Gidado MJ, Anas A, Gunny N, Gopinath SCB, Ali A, Wongs-aree C, et al. Challenges of postharvest water loss in fruits: Mechanisms, influencing factors, and effective control strategies – A comprehensive review. *J Agric Food Res.* 2024;17(May):101249. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101249>
7. Lufu R, Ambaw A, Opara UL. Mechanisms and modelling approaches to weight loss in fresh fruit: a review. 2024;
8. Zhang J, Zhang J, Zhang L, Xue Y, Zhang K. Mechanistic Insights into Vegetable Color Stability: Discoloration Pathways and Emerging Protective Strategies. 2025;
9. Zhang W, Jiang H, Cao J, Jiang W. Trends in Food Science & Technology Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol.* 2021;113(January):355–65. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009>
10. Ali S, Siddiqui MH. Hydrogen Sulfide Mitigates Chilling Injury of Postharvest Banana Fruits by Regulating γ -Aminobutyric Acid Shunt Pathway and Ascorbate – Glutathione Cycle. 2022;13(July):1–17.
11. Sun L, Zhu Z, Sun D wen. Trends in Food Science & Technology Regulating ice formation for enhancing frozen food quality: Materials, mechanisms and challenges. *Trends Food Sci Technol.* 2023;139(February):104116. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.013>
12. Wu J, Tang R, Fan K. Food Chemistry: X Recent advances in postharvest technologies for reducing chilling injury symptoms of fruits and vegetables: A review. *Food Chem X.* 2024;21(October 2023):101080. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101080>
13. Indira P, Castillo-suero A, Cort A, Dantas A, Hern E, Orellana-palma P, et al. Observation and Measurement of Ice Morphology in Foods: A Review. 2023;
14. Wu Y, Bai L, Dai X, Ba L, Wan J, Liang W. Plant Physiology and Biochemistry Comparative transcriptomic analysis reveals the reactive oxygen species metabolism involving in melatonin-alleviated chilling injury in postharvest banana fruit. *Plant Physiol Biochem.* 2025;222(February):109693. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109693>
15. Park Y moon, Kim JK, Lim HT, Park MH, Lim EH, Jeong C soon. Prediction and Validation of Water Condensation on Cold-stored Apples under Various Hygrothermal Conditions in a Packinghouse. 2025;695–704.
16. Niaz N, Hu W, Pan S, Ali K, Walayat N, Mohamed IA, et al. Food Chemistry: X Combined treatment of heat shock and glycine betaine recovered chilling injury in banana

- fruit by reducing membrane damage. *Food Chem X*. 2025;28(1):102529. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102529>
17. Ul M, Zora H, Hafiz S, Shoaib M, Jashanpreet S. Water Loss : A Postharvest Quality Marker in Apple Storage. *Food Bioprocess Technol*. 2024;2155–80. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03305-9>