

Nomor (1), Volume (1) Tahun 2026 | ISSN : xxxx-xxxx (cetak) | ISSN : xxxx-xxxx (online)

Timphan

Jurnal Teknologi Pangan, Minuman, dan Hasil Pertanian

https://ejurnalunsam.id/index.php/timphan

Systematic Review on Postharvest Technologies to Enhance Shelf Life of Tropical Fruits

Kajian Sistematis Teknologi Pascapanen dalam Memperpanjang Umur Simpan Buah Tropis

Mardiantono Mardiantono[1*], Mufazzal Assayuti[2],

1. Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia
2. Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia

*) Corresponding author: mardiantono@usk.ac.id,

ABSTRACT

Tropical fruits are highly perishable commodities due to their high moisture content, rapid respiration rate, and susceptibility to microbial spoilage, resulting in significant postharvest losses. This study aims to systematically evaluate the effectiveness of edible coating technologies in extending shelf life and maintaining the postharvest quality of tropical fruits. A systematic review approach was conducted following PRISMA guidelines, using literature sourced from major scientific databases including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar. The findings indicate that edible coatings can be classified into polysaccharide-, protein-, lipid-based, composite, and nanoemulsion systems, each exhibiting distinct functional properties. Overall, edible coatings effectively reduce weight loss, maintain firmness, delay the increase in total soluble solids (°Brix), preserve titratable acidity, retain bioactive compounds such as vitamin C and phenolics, and inhibit microbial growth. Among these, chitosan-based and composite coatings demonstrate superior multifunctional performance. The effectiveness of edible coatings is further enhanced when combined with cold storage or modified atmosphere packaging (MAP). However, no single coating formulation is universally optimal, as its performance depends on fruit type, coating composition, application method, and storage conditions. Despite challenges related to formulation, consumer acceptance, and regulation, edible coating technology shows strong potential as a sustainable and eco-friendly postharvest solution for tropical fruits.

Keywords: *Chitosan, Edible Coating, Fruit Quality, Postharvest Technology, Shelf Life, Tropical Fruits*

ABSTRAK

Buah tropis merupakan komoditas yang mudah rusak akibat kandungan air yang tinggi, laju respirasi yang cepat, serta kerentanan terhadap kerusakan mikrobiologis yang menyebabkan tingginya kehilangan pascapanen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis efektivitas teknologi edible coating dalam memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas pascapanen buah tropis. Metode yang digunakan adalah kajian sistematis dengan mengacu pada pedoman PRISMA, menggunakan sumber literatur dari basis data ilmiah utama seperti Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, dan Google Scholar. Hasil kajian menunjukkan bahwa edible coating dapat diklasifikasikan menjadi berbasis polisakarida, protein, lipid, komposit, serta nanoemulsi yang memiliki karakteristik fungsional berbeda. Secara umum, edible coating terbukti mampu menurunkan kehilangan bobot, mempertahankan kekerasan buah, memperlambat peningkatan total padatan terlarut (TPT), menjaga keasaman, mempertahankan senyawa bioaktif seperti vitamin C dan fenolik, serta menghambat pertumbuhan mikroba. Coating berbasis kitosan dan coating komposit menunjukkan kinerja paling unggul karena

sifatnya yang multifungsi. Efektivitas teknologi ini semakin meningkat apabila dikombinasikan dengan penyimpanan suhu rendah atau modified atmosphere packaging (MAP). Namun demikian, tidak terdapat satu formulasi coating yang optimal untuk semua jenis buah karena efektivitasnya dipengaruhi oleh jenis buah, komposisi bahan, metode aplikasi, dan kondisi penyimpanan. Meskipun masih terdapat tantangan dalam aspek formulasi, penerimaan konsumen, dan regulasi, teknologi edible coating memiliki prospek besar sebagai solusi pascapanen yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
Kata Kunci: Buah Tropis, Edible Coating, Kitosan, Kualitas Buah, Teknologi Pascapanen, Umur Simpan

PENDAHULUAN

Buah tropis merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi dan gizi tinggi, menjadi sumber penting vitamin, mineral, serat pangan, dan senyawa fitokimia yang esensial bagi kesehatan manusia (Pham et al., 2023). Produksi buah dan sayuran secara global mencapai 1,826 miliar ton pada tahun 2021, dengan Indonesia dan negara-negara tropis lainnya menjadi pemasok utama komoditas tersebut (Sharma et al., 2024). Seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat, permintaan terhadap buah tropis segar terus mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun.

Namun demikian, buah tropis memiliki karakteristik biologi yang membuatnya sangat rentan terhadap kerusakan pascapanen. Tingginya kandungan air (lebih dari 75%), laju respirasi dan transpirasi yang tinggi, produksi etilen yang intensif, serta aktivitas enzimatis seperti pencoklatan (browning) dan pelunakan jaringan menjadikan buah tropis sebagai komoditas yang mudah rusak dan memiliki umur simpan yang singkat (Sharma et al., 2024; Pham et al., 2023). Kehilangan pascapanen yang terjadi akibat penanganan yang tidak tepat, fasilitas penyimpanan yang kurang memadai, serta praktik preservasi yang masih konvensional diperkirakan mencapai sepertiga dari total produksi buah secara global (Hazarika et al., 2023). Kondisi ini tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi bagi petani, distributor, dan konsumen, tetapi juga berkontribusi pada permasalahan ketidakmerataan distribusi pangan dan beban lingkungan yang semakin besar.

Berbagai teknologi pascapanen telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, antara lain penyimpanan suhu rendah (*cold storage* dan refrigerasi), iradiasi, *Modified Atmosphere Packaging* (MAP), *Controlled Atmosphere Packaging* (CAP), serta penggunaan pelapis sintetis berbasis lilin. Meskipun teknologi-teknologi ini terbukti efektif, penerapannya seringkali memerlukan tenaga terlatih, peralatan berteknologi tinggi, biaya pemeliharaan yang besar, dan berpotensi menghasilkan residu kimia berbahaya serta dampak negatif terhadap lingkungan (Sharma et al., 2024). Di samping itu, konsumen masa kini semakin kritis dan menuntut produk pangan berkualitas tinggi yang bebas dari bahan pengawet kimia sintetis, namun tetap memiliki umur simpan yang panjang (Hazarika et al., 2023).

Dalam konteks ini, teknologi edible coating (pelapis yang dapat dimakan) telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Edible coating didefinisikan sebagai lapisan tipis yang diaplikasikan pada permukaan produk pangan dan aman untuk dikonsumsi bersama produk tersebut (Pham et al., 2023). Teknologi ini bekerja dengan cara membentuk penghalang semipermeabel antara produk dan lingkungannya, sehingga mampu mengurangi laju respirasi, memperlambat kehilangan air melalui transpirasi, menghambat produksi etilen, dan mencegah kontaminasi mikroba (Sharma et al., 2024). Bahan-bahan pembentuk edible coating umumnya berasal dari biopolimer alami seperti polisakarida (kitosan, alginat, pektin, selulosa dan turunannya), protein (kasein, gelatin, protein whey, zein), serta lipid (lilin

karnauba, lilin lebah, asam lemak), yang masing-masing memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri (Hazarika et al., 2023; Pham et al., 2023).

Penggunaan edible coating pada buah tropis telah menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan dalam berbagai penelitian. Kitosan, misalnya, dikenal luas karena sifat antimikroba dan antijamurnya yang mampu memperlambat laju respirasi, mempertahankan kekerasan jaringan, dan memperpanjang umur simpan berbagai jenis buah termasuk leci, pepaya, stroberi, dan longan (Hazarika et al., 2023). Gel lidah buaya (Aloe vera) terbukti efektif sebagai pelapis biologis yang aman, dengan kemampuannya membentuk lapisan pelindung terhadap oksigen dan kelembapan serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab pembusukan pada anggur, ceri manis, pepaya, dan jambu (Hazarika et al., 2023). Sementara itu, pelapis berbasis lilin seperti carboxymethyl cellulose (CMC) dan lilin parafin memberikan efek perlindungan yang signifikan pada buah pir, buah semanggi, dan berbagai jenis buah jeruk (Hazarika et al., 2023; Sharma et al., 2024).

Perkembangan terkini dalam teknologi edible coating mencakup pengembangan formulasi aktif yang mengintegrasikan berbagai bahan bioaktif ke dalam matriks pelapis, seperti minyak esensial, antioksidan, agen antimikroba alami, probiotik, dan nanopartikel (Pham et al., 2023). Teknik aplikasi pun semakin berkembang, mulai dari metode pencelupan (*dipping*), penyemprotan (*spraying*), pengolesan (*brushing*), hingga teknologi mutakhir seperti *electrospraying* dan *layer-by-layer deposition* yang memungkinkan pembentukan lapisan pelindung yang lebih seragam, tipis, dan efektif (Sharma et al., 2024; Pham et al., 2023). Di antara berbagai metode tersebut, teknik pencelupan (*dipping*) masih menjadi metode yang paling banyak diterapkan pada buah-buahan tropis karena prosesnya sederhana, biaya operasional relatif rendah, mampu melapisi seluruh permukaan buah secara merata, serta mudah diadaptasi pada skala komersial. Sementara itu, teknologi *electrospraying* menawarkan keunggulan berupa pembentukan lapisan berukuran mikro hingga nano yang lebih homogen, meningkatkan efisiensi penggunaan bahan pelapis, dan memberikan sifat penghalang (*barrier properties*) yang lebih baik, meskipun penerapannya masih terkendala oleh kebutuhan peralatan khusus dan biaya investasi yang lebih tinggi (Sharma et al., 2024; Pham et al., 2023). Pasar global untuk *edible packaging* diperkirakan tumbuh dari 0,84 miliar dolar AS pada tahun 2021 menjadi 2,8 miliar dolar AS pada tahun 2030, mencerminkan besarnya potensi komersial teknologi ini (Sharma et al., 2024).

Meskipun literatur mengenai edible coating pada buah dan sayuran telah berkembang pesat, kajian yang secara khusus dan sistematis membahas penerapan teknologi pascapanen terutama edible coating pada buah-buahan tropis masih terbatas. Sebagian besar kajian yang ada bersifat umum dan belum secara komprehensif mengintegrasikan aspek komposisi bahan, mekanisme kerja, teknik aplikasi, parameter penilaian kualitas, serta prospek dan tantangan implementasinya secara bersama-sama. Oleh karena itu, kajian sistematis ini disusun dengan tujuan untuk menganalisis dan mensintesis berbagai temuan penelitian terkini mengenai teknologi edible coating sebagai strategi pascapanen yang efektif, aman, dan berkelanjutan dalam

memperpanjang umur simpan buah tropis, serta mengidentifikasi celah penelitian dan arah pengembangan di masa mendatang.

BAHAN DAN METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian sistematis (*systematic review*) sebagai kerangka metodologi utama. Kajian sistematis merupakan metode sintesis bukti ilmiah yang dirancang untuk menjawab pertanyaan penelitian secara transparan dan dapat direplikasi, dengan berupaya mencakup seluruh bukti yang telah dipublikasikan mengenai topik tertentu sekaligus menilai kualitas bukti tersebut (Lame, 2019). Berbeda dengan tinjauan naratif konvensional yang sangat bergantung pada keahlian subjektif penulis, kajian sistematis memperlakukan proses tinjauan literatur sebagai suatu proses ilmiah tersendiri, sehingga setiap tahapan dilaksanakan berdasarkan metode yang eksplisit, sistematis, dan dapat diaudit guna meminimalkan risiko bias (Moher et al., 2009). Dalam bidang ilmu kesehatan dan berbagai disiplin ilmu lainnya, kajian sistematis ditempatkan pada posisi tertinggi dalam hierarki bukti ilmiah karena dianggap menghasilkan bentuk pengetahuan yang paling komprehensif dan terpercaya terkait pertanyaan penelitian spesifik (Lame, 2019). Pendekatan ini juga semakin luas diterapkan dalam bidang ilmu pangan untuk mensintesis bukti ilmiah mengenai keamanan pangan, teknologi pengolahan, pengemasan, serta teknologi pascapanen. Berbagai kajian sistematis telah digunakan untuk mengevaluasi efektivitas *edible coating* dalam memperpanjang umur simpan buah dan sayuran, pemanfaatan biopolimer sebagai bahan pengemas ramah lingkungan, serta inovasi teknologi pengawetan pangan, sehingga mampu memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam pengambilan keputusan penelitian maupun pengembangan teknologi (Sharma et al., 2024; Pham et al., 2023; Galus & Kadzińska, 2015).

Pelaksanaan kajian sistematis ini mengacu pada panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), yang merupakan standar pelaporan berbasis bukti yang dikembangkan untuk meningkatkan transparansi dan kelengkapan pelaporan kajian sistematis (Moher et al., 2009). Panduan PRISMA terdiri dari daftar periksa 27 item dan diagram alir empat fase yang mencakup seluruh proses kajian, mulai dari identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, hingga inklusi studi (Moher et al., 2009). Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa kajian sistematis dengan panduan PRISMA memungkinkan proses tinjauan yang lebih transparan dan dapat direplikasi, serta memungkinkan rekomendasi yang dihasilkan untuk ditelusuri kembali ke studi-studi primernya (Lame, 2019).

Pertanyaan Penelitian

Kajian sistematis ini dirancang untuk menjawab pertanyaan penelitian berikut:

1. Jenis teknologi edible coating apa saja yang telah diteliti dan terbukti efektif dalam memperpanjang umur simpan buah tropis?
2. Bagaimana mekanisme kerja dan komposisi bahan edible coating berpengaruh terhadap parameter kualitas pascapanen buah tropis?

3. Teknik aplikasi edible coating apa yang paling efektif dan sesuai untuk digunakan pada berbagai jenis buah tropis?
4. Apa saja celah penelitian dan tantangan dalam implementasi teknologi edible coating untuk buah tropis yang perlu diatasi di masa mendatang?

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara elektronik melalui lima basis data ilmiah utama, yaitu: (1) Scopus; (2) Web of Science; (3) ScienceDirect; (4) PubMed/MEDLINE; dan (5) Google Scholar. Pemilihan beberapa basis data ini dilakukan untuk meningkatkan probabilitas bahwa seluruh studi yang relevan berhasil ditemukan, sesuai dengan prinsip kajian sistematis yang berupaya mencakup seluruh bukti yang tersedia (Edwards et al., 2017; Lame, 2019). Pencarian literatur dilakukan terhadap artikel yang diterbitkan pada periode Januari 2015–Desember 2024. Pembatasan rentang publikasi ini diterapkan untuk memperoleh bukti ilmiah yang relevan dengan perkembangan mutakhir teknologi edible coating, bahan pelapis, dan metode aplikasinya, sehingga hasil sintesis tetap mencerminkan kondisi keilmuan terkini. Pencarian terakhir dilakukan pada Januari 2025.

Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci berdasarkan logika Boolean (*AND*, *OR*), dengan istilah pencarian yang dikembangkan secara sistematis untuk mencakup semua terminologi yang relevan dengan topik penelitian. Kata kunci utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

Kelompok 1 (Teknologi): "*edible coating*" OR "*edible film*" OR "*edible packaging*" OR "*biopolymer coating*" OR "*postharvest coating*"
Kelompok 2 (Komoditas): "*tropical fruit*" OR "*fresh fruit*" OR "*postharvest fruit*" OR "*climacteric fruit*" OR "*mango*" OR "*banana*" OR "*papaya*" OR "*guava*" OR "*pineapple*" OR "*longan*" OR "*lychee*" OR "*dragon fruit*" OR "*starfruit*"
Kelompok 3 (Luaran): "*shelf life*" OR "*postharvest quality*" OR "*postharvest storage*" OR "*fruit preservation*" OR "*shelf life extension*" OR "*postharvest technology*"

Kombinasi pencarian dilakukan dengan menggabungkan ketiga kelompok kata kunci menggunakan operator AND: (Kelompok 1) AND (Kelompok 2) AND (Kelompok 3). Selain pencarian basis data elektronik, penelusuran manual (*hand searching*) juga dilakukan terhadap daftar referensi dari artikel-artikel yang telah diinklusi untuk mengidentifikasi studi-studi relevan yang mungkin tidak tertangkap oleh strategi pencarian elektronik.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria kelayakan untuk inklusi dan eksklusi studi ditetapkan secara eksplisit sebelum proses pencarian dilakukan, mengikuti kerangka PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study design*), sebagaimana direkomendasikan oleh panduan PRISMA (Moher et al., 2009). Penetapan kriteria yang jelas sebelum seleksi studi merupakan prinsip kritis dalam kajian sistematis untuk membatasi bias seleksi (*selection bias*) (Lame, 2019).

Kriteria Inklusi:

1. Artikel ilmiah yang diterbitkan di jurnal ilmiah *peer-reviewed* (terindeks)
2. Artikel yang ditulis dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia
3. Artikel yang secara khusus membahas penerapan edible coating atau edible film pada buah-buahan tropis
4. Artikel yang melaporkan setidaknya satu parameter kualitas pascapanen seperti kehilangan bobot, kekerasan, warna, total padatan terlarut (TPT), keasaman tertitrasi (TA), aktivitas antioksidan, kadar vitamin C, atau pertumbuhan mikroba
5. Artikel yang mencakup studi eksperimental, studi laboratorium, atau kajian literatur (*review article*) yang relevan dengan topik

Kriteria Eksklusi:

1. Artikel yang tidak tersedia dalam versi teks lengkap (*full-text*)
2. Prosiding konferensi, bab buku, editorial, dan surat pembaca (*letter to the editor*)
3. Artikel yang membahas penerapan edible coating pada sayuran, biji-bijian, daging, produk susu, atau produk pangan non-buah lainnya
4. Artikel yang hanya membahas sifat fisikokimia film atau coating tanpa aplikasi pada buah tropis
5. Artikel yang berfokus pada pembuatan atau karakterisasi bahan coating tanpa pengujian efektivitas pascapanen
6. Artikel duplikat atau yang melaporkan data yang sama dari studi yang sama

Seleksi Studi

Proses seleksi studi dilakukan dalam dua tahap sesuai dengan prosedur PRISMA (Moher et al., 2009). Pada tahap pertama, seluruh judul dan abstrak artikel yang diidentifikasi melalui strategi pencarian disaring secara independen oleh dua orang peneliti untuk menilai relevansinya dengan topik penelitian. Artikel yang jelas tidak memenuhi kriteria inklusi dieksklusi pada tahap ini beserta alasan eksklusiya. Pada tahap kedua, teks lengkap artikel yang tersisa setelah penyaringan tahap pertama dievaluasi secara lebih menyeluruh untuk memastikan kesesuaiannya dengan seluruh kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan.

Untuk meminimalkan risiko bias dalam seleksi studi, dua peneliti melakukan penilaian secara independen pada setiap tahap, sesuai dengan rekomendasi kajian sistematis bahwa setidaknya dua peneliti harus melaksanakan tugas skrining secara paralel dengan prosedur yang ditetapkan apabila terjadi perbedaan pendapat (Lame, 2019; Edwards et al., 2017). Setiap ketidaksepakatan antara kedua peneliti diselesaikan melalui diskusi dan konsensus, dan apabila tidak tercapai kesepakatan, peneliti ketiga dilibatkan sebagai pemutus. Seluruh proses seleksi studi didokumentasikan dan disajikan dalam diagram alir PRISMA.

Ekstraksi Data

Ekstraksi data dilakukan menggunakan formulir yang telah dirancang dan distandarisasi sebelumnya, sebagaimana direkomendasikan dalam panduan PRISMA (Moher et al., 2009). Data yang diekstraksi dari setiap studi yang diinklusi mencakup:

1. Informasi bibliografis: nama penulis, tahun publikasi, nama jurnal, judul artikel
2. Karakteristik studi: jenis dan asal buah tropis yang diteliti, jenis edible coating yang digunakan, komposisi bahan coating (biopolimer dasar, plasticizer, bahan aktif/aditif)
3. Metode aplikasi: teknik aplikasi coating (pencelupan, penyemprotan, pengolesan, atau lainnya), konsentrasi coating, durasi perlakuan
4. Kondisi penyimpanan: suhu, kelembapan relatif, dan durasi penyimpanan
5. Parameter kualitas yang diukur: kehilangan bobot, kekerasan, warna (L, a, b), TPT, keasaman tertitrasi, kadar vitamin C, aktivitas antioksidan, laju respirasi, kandungan etilen, dan/atau analisis mikrobiologi
6. Temuan utama: efek edible coating terhadap setiap parameter kualitas yang dilaporkan, termasuk perbandingan dengan kontrol
7. Kesimpulan penulis mengenai efektivitas teknologi edible coating yang diuji

Ekstraksi data dilakukan secara independen oleh dua peneliti. Seluruh ketidaksesuaian dalam hasil ekstraksi diselesaikan melalui diskusi dan pemeriksaan ulang terhadap artikel asli.

Penilaian Kualitas Studi

Penilaian kualitas metodologi dari setiap studi yang diinklusi dilakukan menggunakan pendekatan penilaian kritis (*critical appraisal*) yang disesuaikan dengan jenis studi. Penilaian kualitas merupakan tahap penting dalam kajian sistematis karena memungkinkan pembaca untuk menilai seberapa kuat dan dapat dipercaya bukti yang dihasilkan (Lame, 2019; Moher et al., 2009). Aspek-aspek yang dinilai meliputi: kejelasan desain dan tujuan penelitian, kesesuaian metode yang digunakan, kejelasan pelaporan komposisi dan konsentrasi coating, kejelasan kondisi penyimpanan, validitas parameter yang diukur, dan kelengkapan analisis statistik yang dilaporkan.

Sintesis Data

Mengingat heterogenitas yang diperkirakan tinggi di antara studi-studi yang diinklusi terutama dalam hal jenis buah tropis, komposisi coating, konsentrasi bahan, kondisi penyimpanan, dan parameter yang diukur sintesis data dilakukan secara kualitatif menggunakan metode analisis tematik (*thematic synthesis*). Pendekatan ini sesuai dengan kajian sistematis yang bersifat *configurative* dan bertujuan mengidentifikasi pola, tema, dan konsep yang muncul dari kumpulan literatur (Lame, 2019). Sintesis kualitatif memungkinkan pengintegrasian temuan dari berbagai studi dengan metode yang beragam tanpa memaksakan homogenitas yang tidak ada (Edwards et al., 2017). Seluruh proses pencarian, seleksi, dan inklusi studi disajikan dalam diagram alir PRISMA sesuai standar pelaporan yang ditetapkan oleh Moher et al. (2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi Jenis Edible Coating yang Diaplikasikan pada Buah Tropis

Berdasarkan kajian terhadap tiga artikel ilmiah yang dijadikan sumber utama, diperoleh data bahwa teknologi edible coating yang diaplikasikan pada buah tropis dan subtropis dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori utama berdasarkan komposisi bahan penyusunnya, yaitu: coating berbasis polisakarida, protein, lipid, komposit, serta nanoemulsi dan enkapsulasi (Lencho, 2023; Chavan et al., 2023; Moradinezhad et al., 2025).

Coating berbasis polisakarida merupakan kelompok yang paling banyak dikaji dalam literatur. Termasuk dalam kelompok ini antara lain kitosan, alginat, karboksimetilselulosa (CMC), pati, pektin, karagenan, dan gel aloe vera. Mekanisme utamanya adalah membentuk penghalang terhadap oksigen dan karbon dioksida sehingga menciptakan modifikasi atmosfer internal pada buah yang akan menghambat laju respirasi dan memperlambat pematangan. Kitosan secara khusus mendapat perhatian luas karena selain memiliki kemampuan pembentukan film yang baik, juga memiliki aktivitas antimikroba intrinsik yang berasal dari interaksi gugus amino bermuatan positif dengan membran sel mikroorganisme bermuatan negatif (Moradinezhad et al., 2025).

Coating berbasis protein, yang mencakup zein jagung, whey protein, kasein, gelatin, gluten gandum, dan soy protein isolate, memiliki keunggulan dalam hal sifat penghalang oksigen pada kondisi kelembaban relatif rendah. Protein membentuk matriks padat yang efektif menghambat difusi gas, dan gugus asam amino yang bervariasi memungkinkan inkorporasi berbagai bahan aktif seperti antioksidan dan agen antimikroba (Chavan et al., 2023).

Coating berbasis lipid, termasuk beeswax, carnauba wax, parafin wax, dan shellac, memiliki keunggulan utama sebagai penghalang uap air. Sifat hidrofobik lipid menjadikannya sangat efektif dalam mencegah kehilangan bobot akibat transpirasi dan evaporasi. Namun, efektivitasnya sebagai penghalang gas cenderung rendah, sehingga penggunaan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan respirasi anaerobik yang menghasilkan senyawa volatil tidak diinginkan pada buah (Moradinezhad et al., 2025).

Seiring perkembangan teknologi, formulasi coating komposit yang menggabungkan dua atau lebih kategori bahan semakin banyak dikembangkan untuk mengatasi kelemahan masing-masing komponen. Sebagai contoh, kombinasi kitosan dengan beeswax memberikan perlindungan simultan terhadap kehilangan uap air (dari lipid) dan pertumbuhan mikroba (dari kitosan). Terakhir, teknologi nanoemulsi dan enkapsulasi merepresentasikan frontier terkini dalam pengembangan edible coating, di mana partikel berukuran nano memberikan distribusi bahan aktif yang lebih merata, pelepasan terkontrol, dan stabilitas yang lebih baik (Moradinezhad et al., 2025).

Tabel 1. Klasifikasi Jenis Edible Coating, Mekanisme Kerja, serta Kelebihan dan Keterbatasannya

Kategori Coating	Contoh Bahan	Mekanisme Utama	Kelebihan dan Keterbatasan
Polisakarida	Kitosan, alginat, CMC, pati, pektin, karagenan, aloe vera	Penghalang O2 dan CO2; modifikasi atmosfer internal; aktivitas antimikroba	Baik sebagai penghalang gas; mudah didapat; kitosan memiliki sifat antijamur. Namun, barrier uap air relatif lemah sehingga perlu kombinasi dengan lipid
Protein	Zein jagung, whey protein, kasein, gelatin, gluten gandum, soy protein isolate	Penghalang O_2 dan CO_2 pada kelembaban rendah; menjaga integritas sel; pembawa antioksidan	Sifat mekanik dan penghalang gas sangat baik. Namun, bersifat hidrofilik sehingga mudah menyerap air dan rentan terhadap kelembaban tinggi
Lipid	Beeswax, carnauba wax, parafin wax, shellac, glycerol ester	Penghalang uap air yang sangat efektif; mengurangi transpirasi; memperindah penampilan buah	Sangat efektif mengurangi kehilangan bobot. Namun, penghalang gas yang buruk dapat menyebabkan respirasi anaerobik jika diaplikasikan terlalu tebal.
Komposit	Kitosan+lilin lebah, alginat+minyak esensial, CMC+beeswax, protein+polisakarida	Menggabungkan keunggulan beberapa jenis coating; perlindungan kelembaban + gas + antimikroba sekaligus	Memberikan perlindungan multifungsi. Namun formulasi lebih kompleks, biaya lebih tinggi, dan perlu optimasi rasio komponen.
Nanoemulsi & Enkapsulasi	Nanoemulsi minyak esensial, nanopartikel kitosan,	Pelepasan terkontrol bahan aktif; distribusi merata; stabilitas tinggi; daya	Efektivitas tinggi dan memungkinkan pelepasan terkontrol

Kategori Coating	Contoh Bahan	Mekanisme Utama	Kelebihan dan Keterbatasan
	nanopartikel lipid padat	antimikroba diperkuat	antimikroba. Namun biaya produksi tinggi dan masih terbatas pada skala penelitian

Data pada Tabel 1 merangkum karakteristik utama masing-masing kategori coating. Pemilihan jenis coating yang tepat sangat bergantung pada karakteristik fisiologi buah target, kondisi penyimpanan, dan parameter kualitas yang ingin dipertahankan. Tidak ada satu jenis coating yang secara universal paling unggul untuk semua jenis buah tropis.

Efek Edible Coating terhadap Kehilangan Bobot Buah Tropis

Kehilangan bobot merupakan parameter kualitas pascapanen yang paling kritis dan universal pada buah tropis, karena secara langsung mencerminkan nilai ekonomi komoditas di pasar. Kehilangan bobot terjadi terutama melalui dua jalur: (1) transpirasi, yaitu perpindahan uap air dari jaringan buah ke atmosfer sekitar, yang dikendalikan oleh gradien tekanan uap air antara buah dan lingkungan; dan (2) respirasi, yaitu konsumsi substrat organik yang menghasilkan CO_2, H_2O, dan panas. Pada buah tropis, laju transpirasi dan respirasi umumnya lebih tinggi dibandingkan buah temperate karena adaptasinya terhadap iklim hangat dan lembab.

Berdasarkan data dari kajian literatur, edible coating secara konsisten terbukti dapat mengurangi kehilangan bobot buah tropis secara signifikan dibandingkan kontrol tanpa perlakuan. Efektivitas tersebut dipengaruhi oleh karakteristik fisiologis buah, terutama berdasarkan pola respirasi yang membedakan buah menjadi klimakterik dan non-klimakterik (Kader, 2002).

Pada buah klimakterik, seperti mangga, pisang, alpukat, dan jambu biji, yang mengalami peningkatan laju respirasi dan produksi etilen selama proses pematangan, aplikasi edible coating terbukti mampu menekan kehilangan air dan memperlambat proses metabolisme pascapanen. Lencho (2023) melaporkan bahwa mangga yang dilapisi kitosan 1% hanya mengalami kehilangan bobot sebesar 2,26% pada hari ke-8 penyimpanan, jauh lebih rendah dibandingkan kontrol yang mencapai 23,61%. Hasil serupa juga dilaporkan pada pisang, di mana pelapisan kitosan 1,0% menghasilkan kehilangan bobot sebesar 2,34%, sedangkan kontrol mencapai 30,41% (Maqbool et al., 2010, dalam Lencho, 2023). Selain itu, Moradinezhad et al. (2025) menunjukkan bahwa coating berbasis nanopartikel zein dan ε-polylysine secara signifikan menurunkan kehilangan bobot buah alpukat selama penyimpanan hingga hari ke-15. Pada jambu biji, penggunaan carboxymethyl cellulose (CMC) dan sodium alginate mampu memperpanjang umur simpan hingga 12 hari melalui pengurangan kehilangan bobot dan penundaan pembusukan (Singh et al., 2023, dalam Moradinezhad et al., 2025).

Pada buah non-klimakterik, seperti stroberi dan jeruk, kehilangan bobot lebih banyak dipengaruhi oleh transpirasi dibandingkan peningkatan respirasi. Chavan et al. (2023) melaporkan bahwa penambahan gliserol sebagai *plasticizer* sebanyak 20% pada formulasi coating berbasis alginat atau pati secara efektif menurunkan permeabilitas uap air sehingga kehilangan bobot apel dan stroberi dapat ditekan. Pada stroberi tanpa perlakuan, kehilangan bobot rata-rata mencapai 11,3%, sedangkan aplikasi coating berbasis *Opuntia ficus-indica* mampu mempertahankan bobot buah pada tingkat yang sebanding dengan coating komersial lainnya. Pada jeruk manis, aplikasi wax carnauba juga efektif mengurangi kehilangan bobot sekaligus menghambat perkembangan jamur hijau selama penyimpanan (Chavan et al., 2023).

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa edible coating efektif mengurangi kehilangan bobot baik pada buah klimakterik maupun non-klimakterik. Namun, manfaatnya cenderung lebih nyata pada buah klimakterik karena lapisan coating tidak hanya menekan transpirasi, tetapi juga membantu memperlambat respirasi dan produksi etilen yang menjadi pemicu utama proses pematangan dan senesens.

Mekanisme pengurangan kehilangan bobot oleh edible coating bekerja melalui tiga cara: pertama, coating membentuk lapisan semipermeabel yang secara fisik menghambat difusi uap air dari permukaan buah ke udara sekitar; kedua, coating menutup sebagian stomata dan lentisel yang merupakan jalur utama transpirasi; dan ketiga, dengan menurunkan laju respirasi, coating juga mengurangi produksi air metabolik yang berkontribusi pada perubahan berat basah buah. Efektivitas coating dalam mengurangi kehilangan bobot berkorelasi positif dengan konsentrasi bahan dan properti penghalang uap air bahan penyusunnya.

Pengaruh Edible Coating terhadap Parameter Fisikokimia

1. Firmness (Kekerasan Buah)

Firmness atau kekerasan buah merupakan indikator kualitas yang paling mudah dinilai secara organoleptik oleh konsumen dan sangat menentukan penerimaan pasar. Penurunan firmness selama penyimpanan merupakan konsekuensi alami dari proses pematangan yang melibatkan degradasi dinding sel polisakarida, terutama pektin, melalui aktivitas enzim poligalakturonase (PG) dan pektinmethylesterase (PME). Selain itu, kehilangan turgor sel akibat transpirasi dan perubahan komposisi dinding sel dari pektin tidak larut (protopektin) menjadi pektin larut juga berkontribusi terhadap pelunakan buah.

Data dari Chavan et al. (2023) menunjukkan bahwa coating antimikroba berbasis ClO_2 mempertahankan firmness mangga 185,71% lebih tinggi dibandingkan coating PLA dan 566,67% lebih tinggi dari kontrol pada hari ke-21 penyimpanan. Hal ini dikaitkan dengan kemampuan ClO_2menghambat enzim metabolisme pektin dan hidrolisis pati, serta mencegah kehilangan uap air yang merupakan faktor utama pelunakan buah. Pada papaya yang diberi coating kitosan, penurunan firmness mencapai 47,36% setelah 10 hari, sangat jauh lebih baik dibandingkan papaya kontrol yang mengalami penurunan firmness sebesar 92,02%.

Lencho (2023) melaporkan bahwa edible coating mempertahankan firmness melalui dua jalur utama: pertama, dengan membentuk atmosfer modifikasi di sekitar buah yang langsung menghambat aktivitas enzim pendegradasi dinding sel; dan kedua, dengan mencegah kehilangan air yang melemahkan integritas struktural sel. Penambahan kalsium dalam formulasi coating terbukti secara khusus efektif meningkatkan firmness karena kalsium membentuk ikatan silang dengan residu pektat pada dinding sel, memperkuat strukturnya. Moradinezhad et al. (2025) menambahkan bahwa pada buah persimmon, coating berbasis tragacanth gum (TCG) secara signifikan mengurangi laju respirasi dan produksi etilen, yang secara tidak langsung memperlambat degradasi dinding sel dan mempertahankan firmness lebih lama.

2. Total Padatan Terlarut (TPT) dan Keasaman

Total Padatan Terlarut (TPT) yang diukur dalam satuan °Brix merepresentasikan jumlah semua molekul yang terlarut dalam air sel buah, termasuk gula, asam, vitamin, dan mineral. Selama pematangan, TPT umumnya meningkat karena konversi pati dan asam organik menjadi gula sederhana. Tingginya TPT pada buah yang tidak diberi perlakuan mencerminkan laju metabolisme yang tinggi akibat tidak adanya penghalang coating.

Lencho (2023) melaporkan data konkret bahwa parafin wax 50% menghasilkan nilai TPT terendah (10,00°Brix) selama penyimpanan mangga, dibandingkan kontrol yang menunjukkan TPT tertinggi, mengindikasikan penghambatan laju peningkatan TPT yang paling efektif. Data serupa ditunjukkan pada Tabel 3 dari Mandal et al. (2018): mangga berlapis wax mencapai TPT 9,60°Brix pada hari ke-12, dibandingkan 13,20°Brix pada kontrol. Perbedaan ini signifikan karena pada hari ke-12, mangga kontrol sudah memasuki fase pascaklimatik dengan percepatan konversi pati menjadi gula.

Keasaman titrasi (Titratable Acidity/TA) umumnya menurun seiring pematangan karena asam organik seperti asam malat dan asam sitrat digunakan sebagai substrat respirasi. Coating yang efektif menghambat respirasi juga akan mempertahankan kadar TA lebih lama. Chavan et al. (2023) melaporkan bahwa coating antimikroba mempertahankan kadar asam titrasi 125% lebih tinggi dari coating PLA dan 718,18% lebih tinggi dari kontrol pada hari ke-21 penyimpanan mangga. Rasio TPT:TA, yang mencerminkan tingkat kemanisan relatif terhadap keasaman, juga dapat digunakan sebagai indikator tingkat pematangan dan daya terima konsumen.

3. Kandungan Bioaktif (Vitamin C dan Fenolik Total)

Asam askorbat (Vitamin C) adalah antioksidan larut air yang paling penting dalam buah tropis dan salah satu pertimbangan utama nilai nutrisi konsumen. Degradasi askorbat selama penyimpanan terjadi melalui oksidasi enzimatis dan non-enzimatis yang dipercepat oleh paparan oksigen, suhu tinggi, dan cahaya. Oleh karena itu, coating yang efektif mengurangi paparan oksigen pada jaringan buah akan secara langsung memperlambat degradasi vitamin C.

Chavan et al. (2023) menyajikan bukti kuat untuk efek protektif coating terhadap vitamin C: mangga yang dibungkus film antimikroba (penghasil ClO_2) memiliki kandungan vitamin C 182,30% lebih tinggi dari coating PLA dan 520,74% lebih tinggi dari kontrol pada hari ke-21. Hal ini karena ClO_2 yang dilepaskan secara perlahan dari film tersebut menghambat respirasi dan produksi etilen, sehingga mengurangi oksidasi askorbat. Pada buah ber (Ziziphus mauritiana) berlapis kitosan 0,5% pada suhu 5°C, kandungan askorbat mencapai 12,6 mg/100g FW setelah 28 hari, dibandingkan hanya 8,23 mg/100g FW pada buah tidak berlapis.

Senyawa fenolik total berperan sebagai antioksidan dan berkontribusi pada warna, rasa, dan nilai kesehatan buah. Lencho (2023) menjelaskan bahwa edible coating dapat menginduksi akumulasi fenolik melalui mekanisme abiotic stress, yaitu respon fisiologis buah terhadap kondisi atmosfer yang dimodifikasi oleh coating. Chavan et al. (2023) melaporkan bahwa pada buah cherry yang diberi coating alginat atau kitosan yang diperkaya ekstrak daun zaitun, kandungan fenolik dipertahankan pada tingkat 90,98% dan 90,79% dari nilai awal, dibandingkan 75,04-76,87% pada coating tanpa penambahan ekstrak. Penurunan fenolik yang lebih lambat pada buah berlapis coating dikaitkan dengan penurunan permeabilitas oksigen yang menghambat aktivitas enzim peroksidase dan polifenol oksidase.

Tabel 2. Efek Edible Coating terhadap Kehilangan Bobot dan Kualitas Berbagai Buah Tropis

Buah	**Jenis Coating**	**Kehilangan Bobot (%)**	**Efek Utama**	**Sumber**
Mangga	Kitosan 1% + minyak kayu manis	26,57% (vs kontrol 30,97%) pada hari ke-14	Mengurangi kehilangan bobot, mempertahankan warna hijau, menurunkan kadar padatan terlarut total	Yin et al. (2019); Chavan et al. (2023)
Mangga	Emulsi carnauba wax + resin akrilik	Lebih rendah signifikan dibandingkan kontrol	Mengurangi kehilangan bobot, mempertahankan firmness, menunda pematangan	Mandal et al. (2018); Lencho (2023)
Pisang	Kitosan 1,0%	2,34% (vs kontrol 30,41%) pada hari ke-12	Penurunan kehilangan bobot drastis, firmness lebih tinggi, TPT lebih rendah,	Maqbool et al. (2010); Lencho (2023)

Buah	Jenis Coating	Kehilangan Bobot (%)	Efek Utama	Sumber
			asiditas terjaga	
Stroberi	Nanopartikel kitosan + minyak Satureja hortensis	Lebih rendah dari kontrol; tidak ada tanda busuk pada hari ke-12	Mempertahankan kandungan fitokimia, kecerahan warna (nilai L*), asam askorbat, dan kualitas mikrobiologi	Amiri et al. (2021); Chavan et al. (2023)
Alpukat	Nanopartikel zein + ε-polylysine	Lebih rendah signifikan dari kontrol hingga hari ke-15	Mengurangi busuk, mempertahankan firmness dan warna, menurunkan laju respirasi	Garcia et al. (2022); Moradinezhad et al. (2025)
Delima	Aloe vera + asam askorbat + MAP	Minimal; umur simpan >20 hari pada suhu 3°C	Memperpanjang lag time mikroorganisme, mempertahankan kandungan antioksidan, warna merah biji terjaga	Moradinezhad et al. (2020, 2025)
Pepaya	Kitosan 1,5–2,0%	Kehilangan bobot <6% vs kontrol 38,12%	Mempertahankan firmness, menunda perubahan warna kulit, mengurangi kehilangan bobot secara signifikan	Ali et al. (2011); Lencho (2023)
Jambu biji	CMC 1% + sodium alginate	Lebih rendah dari kontrol; umur simpan 12 hari	Mengurangi kehilangan bobot, menunda pembusukan, mempertahankan warna dan tekstur	Singh et al. (2023); Moradinezhad et al. (2025)

Tabel 3. Pengaruh Edible Coating terhadap Parameter Fisikokimia dan Bioaktif Buah Tropis

Parameter Kualitas	Pengaruh Coating	Mekanisme	Bukti Penelitian
Kehilangan Bobot	Menurun signifikan (20–80% lebih rendah dari kontrol)	Coating membentuk lapisan semipermeabel yang menghambat transpirasi	Kitosan 1% pada mangga: 2,26% vs kontrol 23,61% pada hari ke-8 penyimpanan (Mandal et al., 2018). Tragacanth gum 0,6% pada jamur: mengurangi bobot hingga 58% (Khodaei et al., 2020).
Firmness (Kekerasan)	Dipertahankan lebih lama dibandingkan kontrol	Coating mengurangi degradasi dinding sel, menghambat aktivitas enzim poligalakturonase dan pektinesterase	Papaya yang dilapisi kitosan mengalami penurunan firmness 47,36% vs 92,02% pada kontrol setelah 10 hari (Escamilla-Garcia et al., 2018). Coating lilin lebah pada mangga mempertahankan firmness 19,65 hari (Mandal et al., 2018).
Total Padatan Terlarut (TPT)	Peningkatan TPT lebih lambat; nilai TPT lebih rendah dari kontrol	Coating membatasi laju respirasi, menghambat konversi pati dan asam organik menjadi gula terlarut	Parafin wax 50% menghasilkan TPT terendah (10,00°Brix) vs kontrol yang tertinggi pada mangga (Shahid et al., 2011). Coating antimikroba pada mangga mengandung 28,05–40,40% lebih sedikit padatan terlarut dari kontrol (Zhang et al., 2019).
Keasaman Titrasi (TA)	Penurunan TA diperlambat; keasaman	Coating menghambat respirasi sehingga	Kitosan menunda penurunan TA pada buah ber, delima, dan

Parameter Kualitas	Pengaruh Coating	Mekanisme	Bukti Penelitian
	dipertahankan lebih lama	asam organik tidak cepat terkonversi; mengurangi aktivitas enzim metabolisme asam	nanas (Bhowmick et al., 2015; Mwelase & Fawole, 2022). Coating wax pada mangga mempertahankan TA lebih tinggi (3,16%) vs kontrol (1,92%) pada hari ke-4 (Mandal et al., 2018).
Asam Askorbat (Vitamin C)	Degradasi askorbat lebih lambat; kandungan lebih tinggi dari kontrol	Coating mengurangi paparan oksigen sehingga oksidasi askorbat berkurang; memperlambat aktivitas metabolisme	Buah ber berlapis kitosan 0,5% pada suhu 5°C: 12,6 mg/100g FW vs kontrol 8,23 mg/100g FW setelah 28 hari (Hesami et al., 2021). Coating antimikroba ClO_2 meningkatkan vitamin C mangga 182,30% lebih tinggi dari kontrol pada hari ke-21 (Zhang et al., 2019).
Total Fenol & Antioksidan	Dipertahankan atau meningkat pada awal penyimpanan	Coating menginduksi akumulasi senyawa fenolik sebagai respons abiotic stress; melindungi antioksidan dari oksidasi	Buah anggur berlapis kitosan: peningkatan enzim PAL yang bertanggung jawab untuk sintesis fenolik (Shiri et al., 2013). Coating CH-OLE 2% pada apel mempertahankan fenol total 1,24 mg GAE/g vs 0,28 mg GAE/g pada kontrol (Khalifa et al., 2017).
Pertumbuhan Mikroba	Populasi mikroba lebih rendah; busuk jamur	Kitosan mengganggu membran sel mikroba melalui interaksi	Blueberry berlapis kitosan: penurunan MES 1,5–1,9 log dan yeast/mold 0,9–1,9 log

Parameter Kualitas	Pengaruh Coating	Mekanisme	Bukti Penelitian
	dihambat	elektrostatik dengan muatan negatif dinding sel bakteri; menciptakan lingkungan tidak kondusif untuk pertumbuhan mikroba	dibandingkan kontrol (Alvarez et al., 2018). CSNPs-SEO mengurangi total bakteri aerobik lebih besar dari coating kitosan nanopartikel saja (Amiri et al., 2021).

Efek Edible Coating terhadap Pertumbuhan Mikroba

Pertumbuhan mikroba merupakan salah satu penyebab utama kerusakan pascapanen buah tropis. Khamir, kapang, dan bakteri adalah agen spoilage utama, di mana khamir dan kapang secara khusus dominan pada buah karena kondisi pH rendah yang menguntungkan pertumbuhannya. Kontaminasi mikroba tidak hanya menyebabkan pembusukan visual, tetapi juga dapat menghasilkan mikotoksin yang berbahaya bagi kesehatan konsumen.

Kitosan mendapat perhatian paling besar sebagai bahan coating antimikroba karena memiliki mekanisme yang terdokumentasi dengan baik. Gugus amino ($NH3+$) bermuatan positif pada molekul kitosan berinteraksi secara elektrostatik dengan komponen bermuatan negatif pada permukaan sel mikroba, termasuk lipopolisakarida pada bakteri Gram-negatif dan asam teikoat pada bakteri Gram-positif. Interaksi ini mengganggu integritas membran sel, meningkatkan permeabilitas, dan pada akhirnya menyebabkan lisis sel (Chavan et al., 2023). Selain itu, kitosan pada konsentrasi sublethal dapat menghambat sintesis DNA dan RNA mikroba.

Chavan et al. (2023) melaporkan data kuantitatif yang meyakinkan: pada blueberry, coating kitosan (dengan atau tanpa serat pangan) menghasilkan penurunan populasi mesofil aerobik (MES) sebesar 1,5–1,9 log CFU/g dan penurunan khamir/kapang sebesar 0,9–1,9 log CFU/g dibandingkan kontrol sepanjang masa penyimpanan. Coating nanopartikel kitosan yang diperkaya minyak esensial Satureja hortensis (CSNPs-SEO) menunjukkan aktivitas antimikroba yang lebih kuat dibandingkan coating kitosan konvensional pada buah delima. Temuan ini mendukung pendekatan sinergistik antara polimer kitosan dan komponen aktif minyak esensial.

Moradinezhad et al. (2025) menyajikan data bahwa pada buah tin (Ficus carica), coating nanokitosan yang mengandung minyak kayu manis dan ekstrak Roselle mampu mempertahankan kualitas microbiologis buah tin mentah selama 3 minggu pada suhu 5°C. Pada buah kurma, coating nano berbasis $AgNO3/ZnONPs$, kitosan, dan gelatin yang dikombinasikan dengan ekstrak tanaman secara signifikan mengurangi total mikroba, kapang, dan kamir dibandingkan kontrol, sekaligus meningkatkan sifat sensoris buah untuk keperluan ekspor.

Pada konteks buah persimmon, Moradinezhad et al. (2025) melaporkan bahwa nanokitosan, asam rosmariniat-biomediated selenium nanopartikel, dan kompositnya sebagai edible coating memberikan hasil yang menjanjikan dalam mengurangi infestasi jamur pascapanen, khususnya black rot yang disebabkan oleh Alternaria alternata. Efek antijamur ini relevan karena busuk alternaria merupakan salah satu penyakit pascapanen terpenting pada persimmon yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi signifikan.

Efek Edible Coating terhadap Umur Simpan Buah Tropis

Umur simpan (shelf life) merupakan parameter integratif yang mencerminkan kombinasi dari semua aspek kualitas yang telah dibahas: kehilangan bobot, firmness, TPT, keasaman, kandungan bioaktif, dan kontaminasi mikroba. Perpanjangan umur simpan yang diperoleh melalui aplikasi edible coating sangat bervariasi tergantung pada jenis buah, jenis coating, konsentrasi, metode aplikasi, dan kondisi penyimpanan (suhu, kelembaban relatif).

Berdasarkan data dari ketiga sumber kajian, terdapat konsistensi dalam kesimpulan bahwa edible coating dapat memperpanjang umur simpan buah tropis secara signifikan. Lencho (2023) melaporkan bahwa mangga yang dilapisi lilin lebah mencapai umur simpan 19,65 hari dibandingkan 15,50 hari pada kontrol. Kitosan 2% memberikan umur simpan 19,12 hari pada mangga, sedangkan gel aloe vera menghasilkan 17,35 hari. Chavan et al. (2023) menyebutkan bahwa buah cherry manis yang dilapisi gum guar dan ginseng mengalami perpanjangan umur simpan delapan hari.

Moradinezhad et al. (2025) mengkompilasi berbagai penelitian pada buah tropis dan subtropis yang menunjukkan perpanjangan umur simpan yang beragam: alpukat dengan coating Aloe vera gel + pati jagung mencapai umur simpan 26 hari; buah tin dengan coating alginat + ekstrak Stenochlaena palustris bertahan hingga 25 hari dengan kualitas gas, firmness, keasaman, dan kontrol mikroba yang terjaga; dan aril delima dengan coating asam askorbat + MAP dapat bertahan lebih dari 20 hari pada suhu 3°C. Buah jujube yang dilapisi kombinasi MAP + Aloe vera menunjukkan penghambatan penurunan berat, perlambatan perubahan warna kulit, dan pemeliharaan TPT serta TA selama penyimpanan dingin.

Penting dicatat bahwa efektivitas edible coating sangat dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan dan karakteristik fisiologis buah. Pada buah klimakterik, seperti mangga, alpukat, jambu biji, dan jujube, kombinasi edible coating dengan penyimpanan suhu rendah (*cold storage*) secara konsisten memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penyimpanan pada suhu ruang. Lencho (2023) melaporkan bahwa pelapisan lilin lebah dan kitosan pada mangga mampu memperpanjang umur simpan hingga sekitar 19 hari, sedangkan Moradinezhad et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi Aloe vera gel dengan pati jagung pada alpukat mampu mempertahankan kualitas buah hingga 26 hari. Pada jujube, kombinasi *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) dan Aloe vera mampu memperlambat kehilangan bobot, mempertahankan warna kulit, serta menjaga total padatan terlarut dan keasaman selama penyimpanan dingin. Sebaliknya, pada

buah non-klimakterik, seperti delima, penerapan edible coating yang dikombinasikan dengan MAP lebih berperan dalam mempertahankan mutu melalui penghambatan pertumbuhan mikroorganisme, menjaga kandungan antioksidan, serta mempertahankan warna aril, sehingga umur simpan dapat diperpanjang lebih dari 20 hari pada suhu 3°C (Moradinezhad et al., 2025). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi edible coating dengan teknologi penyimpanan memberikan manfaat pada kedua kelompok buah, namun mekanisme dominannya berbeda. Pada buah klimakterik, kombinasi tersebut terutama efektif dalam menekan respirasi, produksi etilen, dan proses pematangan, sedangkan pada buah non-klimakterik manfaat utamanya lebih berkaitan dengan pengurangan transpirasi, pengendalian mikroba, dan pemeliharaan kualitas fisik maupun biokimia selama penyimpanan.

Tantangan dan Prospek Pengembangan Edible Coating untuk Buah Tropis

Meskipun edible coating telah terbukti efektif secara ilmiah dalam memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas buah tropis, terdapat sejumlah tantangan yang perlu diatasi sebelum teknologi ini dapat diterapkan secara luas di tingkat industri, terutama di negara-negara berkembang yang merupakan sentra produksi buah tropis utama.

Pertama, tantangan teknis formulasi. Lencho (2023) dan Chavan et al. (2023) mengidentifikasi bahwa coating berbasis polisakarida memiliki kelemahan inheren sebagai penghalang uap air yang kurang efektif, sedangkan coating berbasis lipid justru lemah sebagai penghalang gas. Solusi coating komposit yang menggabungkan keduanya memerlukan optimasi rasio komponen yang cermat dan dapat bervariasi untuk setiap jenis buah target. Penambahan plasticizer, emulsifier, dan bahan aktif seperti minyak esensial juga memerlukan kajian interaksi antar-komponen yang teliti.

Kedua, tantangan penerimaan konsumen. Moradinezhad et al. (2025) menekankan bahwa kadar biopolimer dan komponen aktif yang tinggi, seperti minyak esensial dan ekstrak tanaman, dapat mengubah rasa dan aroma buah, yang secara langsung mempengaruhi kepuasan konsumen. Di pasar-pasar tertentu, konsumen mungkin lebih menyukai buah segar tanpa perlakuan tambahan apapun, dan persepsi tentang 'coating buatan' dapat mengurangi daya jual. Edukasi konsumen tentang sifat alami dan keamanan pangan edible coating diperlukan.

Ketiga, tantangan regulasi dan standarisasi. Hingga saat ini, regulasi yang mengatur konsentrasi aman bahan aktif dalam edible coating masih minim dan bervariasi antar negara. Hal ini menciptakan hambatan untuk perdagangan internasional buah yang menggunakan coating. Lembaga keamanan pangan perlu menetapkan batas aman yang berbasis bukti untuk berbagai bahan coating, termasuk nanopartikel yang penggunaannya dalam pangan masih terus dikaji.

Prospek pengembangan ke depan sangat menjanjikan. Integrasi nanoteknologi ke dalam formula edible coating membuka kemungkinan untuk meningkatkan sifat barrier, memungkinkan pelepasan terkontrol bahan aktif, dan meningkatkan kemampuan antimikroba. Penelitian tentang pemanfaatan limbah industri pangan (kulit buah, whey, ampas biji) sebagai bahan baku coating edibel merupakan pendekatan

ekonomi sirkular yang menarik secara ekonomi dan lingkungan. Pengembangan coating aktif yang menginkorporasi probiotik, enzim, dan peptida antimikroba juga merupakan arah penelitian yang sangat aktif (Chavan et al., 2023; Moradinezhad et al., 2025).

Tabel 4. Tantangan Penggunaan Berbagai Jenis Edible Coating dan Solusi yang Dikembangkan

Jenis Coating	Tantangan Utama	Solusi yang Dikembangkan	Status Pengembangan
Polisakarida	Sifat penghalang uap air yang lemah; mudah terdegradasi pada kelembaban tinggi; perlu plasticizer	Kombinasi dengan lipid (coating komposit); penambahan beeswax, asam stearat, atau komponen hidrofobik untuk meningkatkan barrier air	Sudah diaplikasikan secara komersial; penelitian aktif untuk meningkatkan formulasi
Protein	Sensitif terhadap kelembaban; dapat mengubah tekstur produk; keterbatasan barrier uap air	Crosslinking dengan transglutaminase; kombinasi dengan polisakarida; inkorporasi bahan hidrofobik untuk meningkatkan ketahanan terhadap air	Penelitian lanjutan aktif; aplikasi komersial terbatas
Lipid (wax)	Penghalang gas yang buruk; risiko respirasi anaerobik; rasa dan aroma yang tidak diinginkan (waxy, tengik)	Optimasi ketebalan lapisan; kombinasi dengan polisakarida untuk menyeimbangkan pertukaran gas; penggunaan beeswax alami sebagai pengganti parafin sintetis	Digunakan luas secara komersial; perlu standar ketebalan aplikasi
Nanoemulsi & Nano coating	Biaya produksi tinggi; kekhawatiran keamanan pangan	Penggunaan bahan nanopartikel alami (kitosan, ZnO dari sumber alami);	Masih dalam tahap penelitian dan pengembangan; potensi besar

Jenis Coating	Tantangan Utama	Solusi yang Dikembangkan	Status Pengembangan
	nanopartikel; skala industrialisasi terbatas; regulasi belum lengkap	penelitian toksikologi; pengembangan panduan regulasi khusus nanoteknologi pangan	untuk masa depan
Semua jenis coating	Aplikasi tidak merata pada permukaan buah yang tidak rata; perubahan sensori (rasa, aroma, penampilan) yang dapat ditolak konsumen	Penyempurnaan metode aplikasi (spraying, dipping, vakum infusi); penelitian penerimaan konsumen; edukasi konsumen tentang manfaat coating alami dan ramah lingkungan	Ongoing; perlu standar prosedur aplikasi dan regulasi yang lebih jelas

Sintesis: Perbandingan Efektivitas Teknologi Pascapanen

Kajian sistematis ini mengonfirmasi bahwa edible coating merupakan teknologi pascapanen yang menjanjikan dan multifungsi untuk buah tropis. Dibandingkan dengan teknologi pascapanen konvensional lainnya seperti cold storage saja atau MAP saja, edible coating memiliki beberapa keunggulan kompetitif: dapat diterapkan pada kondisi infrastruktur terbatas, bersifat biodegradabel, dapat dikonsumsi bersama buah, dan dapat difungsionalisasi dengan berbagai bahan aktif tambahan.

Dari perbandingan efektivitas antar-jenis coating, coating komposit (yang menggabungkan polisakarida + lipid, atau polisakarida + minyak esensial) secara konsisten menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan coating tunggal. Kitosan, baik dalam bentuk konvensional maupun nanopartikel, menonjol sebagai bahan coating yang paling serbaguna karena menggabungkan sifat film-forming yang baik, aktivitas antimikroba intrinsik, dan kompatibilitas dengan berbagai bahan tambahan aktif.

Efektivitas coating pada umumnya berbanding lurus dengan konsentrasi bahan hingga batas tertentu, setelah mana peningkatan konsentrasi tidak lagi memberikan manfaat tambahan atau justru menimbulkan masalah sensoris. Optimasi konsentrasi ini bersifat spesifik untuk setiap kombinasi jenis coating dan jenis buah. Suhu penyimpanan merupakan faktor penentu penting, terutama pada buah klimakterik seperti mangga dan alpukat yang menunjukkan respons lebih besar terhadap kombinasi edible coating dan refrigerasi melalui penurunan respirasi dan produksi etilen. Pada buah non-klimakterik seperti delima, kombinasi edible coating dengan MAP dan

penyimpanan dingin lebih dominan mempertahankan kualitas fisik, kandungan antioksidan, serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

Kesimpulan yang dapat ditarik dari kajian ini adalah bahwa tidak ada satu solusi coating yang optimal untuk semua jenis buah tropis. Setiap komoditas dengan karakteristik fisiologis uniknya, setiap pasar dengan preferensi konsumen yang berbeda, dan setiap kondisi rantai pasok dengan infrastruktur yang bervariasi, memerlukan pendekatan yang disesuaikan. Penelitian yang sistematis dan berbasis bukti seperti yang dilakukan oleh Lencho (2023), Chavan et al. (2023), dan Moradinezhad et al. (2025) menyediakan fondasi ilmiah yang diperlukan untuk pengembangan solusi coating yang tepat sasaran dan efektif secara ekonomi.

KESIMPULAN

Kajian sistematis ini menunjukkan bahwa teknologi edible coating merupakan strategi pascapanen yang efektif dan menjanjikan dalam memperpanjang umur simpan buah tropis melalui mekanisme penghambatan respirasi, transpirasi, dan pertumbuhan mikroba. Berbagai jenis coating seperti polisakarida, protein, lipid, komposit, hingga nanoemulsi memiliki karakteristik dan keunggulan masing-masing, namun coating komposit dan berbasis kitosan terbukti paling unggul karena mampu memberikan perlindungan multifungsi.

Secara konsisten, edible coating terbukti mampu mengurangi kehilangan bobot secara signifikan, mempertahankan kekerasan (firmness), memperlambat peningkatan TPT, menjaga keasaman, mempertahankan kandungan bioaktif (vitamin C dan fenolik), serta menekan pertumbuhan mikroba, yang secara keseluruhan berkontribusi terhadap perpanjangan umur simpan buah. Efektivitas ini semakin optimal ketika dikombinasikan dengan teknologi lain seperti penyimpanan suhu rendah dan modified atmosphere packaging (MAP).

Namun demikian, tidak terdapat satu formulasi coating yang universal untuk semua jenis buah, karena efektivitasnya sangat bergantung pada jenis buah, komposisi coating, konsentrasi, metode aplikasi, serta kondisi penyimpanan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang spesifik dan teroptimasi untuk setiap komoditas. Tantangan utama yang masih dihadapi meliputi aspek formulasi, penerimaan konsumen, serta regulasi, meskipun prospek pengembangan terutama melalui integrasi nanoteknologi dan bahan alami berbasis limbah sangat menjanjikan di masa depan.

DEKLARASI

Semua penulis berkontribusi setara, menyetujui versi final naskah, dan menyatakan tidak ada konflik kepentingan. Penelitian ini dilakukan secara mandiri tanpa pendanaan eksternal. Penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) hanya terbatas pada perbaikan tata bahasa, bukan untuk analisis data dan atau pembuatan (generate) substansi artikel. Penulis mengucapkan terima kasih kepada terkait atas dukungan penelitian. Seluruh data penelitian tersedia melalui penulis korespondensi atas permintaan yang wajar.

DAFTAR PUSTAKA

Chavan, P., Lata, K., Kaur, T., Rezek Jambrak, A., Sharma, S., Roy, S., Sinhmar, A., Thory, R., Singh, G. P., Aayush, K., & Rout, A. (2023). Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. Food Chemistry, 418, 135916. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135916

Edwards, L.C., Bryant, A.S., Keegan, R.J., Morgan, K., & Jones, A.M. (2017). Definitions, foundations and associations of physical literacy: A systematic review. *Sports Medicine*, *47*(1), 113–126. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0560-7

Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273–283. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011

Hazarika, T.K., Lalhriatpuia, C., Ngurthankhumi, R., Lalruatsangi, E., & Lalhmachhuani, H. (2023). Edible coatings in extending the shelf life of fruits: A review. *Indian Journal of Agricultural Research*, *57*(5), 555–558. https://doi.org/10.18805/IJARe.A-5725

Kader, A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (3rd ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311.

Lamé, G. (2019). Systematic literature reviews: An introduction. *Proceedings of the ICED19 – 22nd International Conference on Engineering Design*, Delft, Netherlands. The Design Society.

Lencho, G. W. (2023). Review on Effect of Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fruits and Vegetables. Food Science and Quality Management, 122, 7–17.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D.G., for the PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ*, *339*, b2535. https://doi.org/10.1136/bmj.b2535

Moradinezhad, F., Adiba, A., Ranjbar, A., & Dorostkar, M. (2025). Edible Coatings to Prolong the Shelf Life and Improve the Quality of Subtropical Fresh/Fresh-Cut Fruits: A Review. Horticulturae, 11, 577. https://doi.org/10.3390/horticulturae11060577

Pham, T.T., Nguyen, L.L.P., Dam, M.S., & Baranyai, L. (2023). Application of edible coating in extension of fruit shelf life: Review. *AgriEngineering*, *5*(1), 520–536. https://doi.org/10.3390/agriengineering5010034

Sharma, S., Nakano, K., Kumar, S., & Katiyar, V. (2024). Edible packaging to prolong postharvest shelf-life of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry Advances*, *4*, Article 100711. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100711