



***Edible Coating* untuk Memperpanjang Umur Simpan Stroberi: Tinjauan Sistematis**

Nur Afni^{1*}, Elya Antariksana Bachmida²

¹⁻²Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Mataram, Indonesia

*Penulis Korespondensi: nurafni@staff.unram.ac.id

Abstract. *Strawberries are horticultural commodities that are highly susceptible to postharvest deterioration due to their high respiration rate, microbial activity, and oxidative degradation, resulting in a relatively short shelf life. This study aimed to evaluate the effectiveness of edible coatings in extending strawberry shelf life through a systematic literature review (SLR) approach. Literature was collected from several scientific databases using keywords related to edible coating, shelf life, and strawberry, covering publications from 2019–2026. From an initial 109 articles, a selection process based on inclusion and exclusion criteria resulted in 35 articles specifically discussing the application of edible coatings on strawberries. The synthesis results showed that all studies reported an extension of shelf life after edible coating application, although the effectiveness was influenced by the type of material, formulation, and storage conditions. Chitosan was the most widely used coating material due to its natural antimicrobial activity and excellent film-forming ability. The incorporation of bioactive compounds such as essential oils, plant extracts, and phenolic compounds was proven to enhance antifungal and antioxidant activities. In addition, nanotechnology-based systems demonstrated better preservation performance compared to conventional systems. However, methodological standardization and industrial-scale validation are still required to support commercial implementation.*

Keywords: *Edible Coating; Nanotechnology; Postharvest; Shelf Life; Strawberry.*

Abstrak. Buah stroberi merupakan komoditas hortikultura yang mudah mengalami kerusakan pascapanen akibat tingginya laju respirasi, aktivitas mikroba, dan degradasi oksidatif sehingga umur simpannya relatif singkat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas *edible coating* dalam memperpanjang umur simpan stroberi melalui pendekatan *systematic literature review* (SLR). Literatur diperoleh dari beberapa database ilmiah menggunakan kata kunci terkait *edible coating*, shelf life, dan strawberry pada publikasi tahun 2019–2026. Dari 109 artikel awal, dilakukan seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi hingga diperoleh 35 artikel yang secara khusus membahas aplikasi *edible coating* pada stroberi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa seluruh penelitian melaporkan peningkatan umur simpan setelah aplikasi *edible coating*, meskipun efektivitasnya dipengaruhi oleh jenis bahan, formulasi, dan kondisi penyimpanan. Kitosan menjadi bahan *coating* yang paling banyak digunakan karena memiliki aktivitas antimikroba alami dan kemampuan membentuk film yang baik. Penambahan senyawa bioaktif seperti minyak atsiri, ekstrak tanaman, serta senyawa fenolik terbukti meningkatkan aktivitas antifungi dan antioksidan. Selain itu, sistem berbasis nanoteknologi menunjukkan performa preservasi lebih baik dibandingkan sistem konvensional. Namun, masih diperlukan standarisasi metode dan validasi skala industri untuk mendukung penerapan komersial.

Kata kunci: *Edible coating; Nanoteknologi; Pascapanen; Stroberi; Umur Simpan.*

1. LATAR BELAKANG

Buah Strawberry merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang sangat diminati karena karakteristik sensori yang unggul, seperti warna merah cerah, rasa manis-asam, serta kandungan senyawa bioaktif yang tinggi. Namun demikian, stroberi termasuk buah klimakterik non-sejati dengan laju respirasi tinggi dan struktur jaringan yang lunak, sehingga sangat rentan terhadap kerusakan pascapanen, terutama akibat kehilangan air, aktivitas mikroba, dan proses oksidatif (Abera et al., 2024; Feng et al., 2024).

Kerusakan pascapanen pada stroberi umumnya ditandai dengan pelunakan jaringan, perubahan warna, kehilangan berat, serta pertumbuhan jamur patogen seperti *Botrytis cinerea*, yang menjadi penyebab utama pembusukan selama penyimpanan (Araby et al., 2024; Huang et al., 2026). Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban juga berperan penting dalam mempercepat degradasi kualitas buah, terutama selama distribusi dan penyimpanan (Misumi et al., 2025). Tanpa penanganan yang tepat, umur simpan stroberi pada suhu ruang umumnya hanya berkisar 2–5 hari, sehingga menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan (Darwesh et al., 2026).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai teknologi telah dikembangkan, salah satunya adalah penggunaan *edible coating*. *Edible coating* merupakan lapisan tipis yang dapat dimakan dan diaplikasikan pada permukaan buah untuk membentuk penghalang semi-permeabel terhadap gas dan uap air, sehingga mampu menekan laju respirasi, kehilangan air, serta pertumbuhan mikroorganisme (Bai et al., 2024; Khodaei et al., 2021). Selain itu, *edible coating* juga dapat berfungsi sebagai *carrier* senyawa bioaktif seperti antioksidan dan antimikroba yang dapat meningkatkan stabilitas kualitas buah selama penyimpanan (Urango et al., 2025; Zhou et al., 2025).

Seiring perkembangan teknologi, *edible coating* tidak lagi terbatas pada sistem konvensional, tetapi telah berkembang menjadi sistem aktif dan cerdas melalui integrasi nanoteknologi, enkapsulasi, serta penggunaan bahan bioaktif. Misalnya, penggunaan nanoemulsi minyak atsiri dan nanopartikel dalam matriks biopolimer terbukti mampu meningkatkan efektivitas penghambatan mikroba dan memperpanjang umur simpan stroberi secara signifikan (Cen et al., 2026; Kunadu et al., 2025). Selain itu, pendekatan berbasis nano-encapsulation memungkinkan pelepasan senyawa aktif secara terkendali, sehingga meningkatkan efisiensi preservasi (Li et al., 2026; Mou et al., 2025).

Di sisi lain, teknologi packaging juga memainkan peran penting dalam mempertahankan kualitas stroberi. *Active packaging* dan *modified atmosphere packaging* (MAP) telah terbukti efektif dalam mengontrol komposisi gas di sekitar produk, mengurangi respirasi, serta menghambat pertumbuhan mikroba (Nimita et al., 2026; Zhang et al., 2025). Bahkan, pengembangan kemasan cerdas yang mampu merespons perubahan lingkungan atau mendeteksi tingkat kesegaran produk menjadi tren baru dalam sistem preservasi pangan modern (Wu et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas masing-masing teknologi, masih terdapat variasi hasil yang cukup besar terkait jenis bahan, metode aplikasi, serta kondisi penyimpanan yang digunakan. Beberapa studi melaporkan peningkatan umur simpan hingga

lebih dari dua kali lipat, sementara studi lain menunjukkan hasil yang lebih moderat (Saleh et al., 2022; Sani et al., 2025). Selain itu, integrasi antara *edible coating* dan packaging belum banyak dianalisis secara komprehensif dalam satu kajian sistematis.

Oleh karena itu, diperlukan suatu *systematic literature review* yang mampu mengintegrasikan berbagai temuan penelitian terkait penggunaan *edible coating* dan teknologi packaging dalam memperpanjang umur simpan stroberi. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme kerja, efektivitas teknologi, serta arah pengembangan penelitian di masa depan.

2. KAJIAN TEORITIS

Karakteristik dan Kerusakan Pascapanen Stroberi

Buah Strawberry memiliki karakteristik fisiologis yang unik dibandingkan buah hortikultura lainnya, terutama karena termasuk dalam kelompok buah non-klimakterik dengan laju respirasi relatif tinggi setelah panen. Tingginya aktivitas metabolisme ini menyebabkan percepatan proses *senescence* yang ditandai dengan pelunakan jaringan, degradasi warna, serta penurunan kandungan nutrisi.

Secara struktural, stroberi memiliki dinding sel yang tersusun dari pektin, hemiselulosa, dan selulosa yang relatif lemah, sehingga mudah mengalami degradasi akibat aktivitas enzim seperti poligalakturonase dan pektin metilesterase. Aktivitas enzimatik ini menyebabkan disintegrasi jaringan dan penurunan kekerasan buah selama penyimpanan (Feng et al., 2024). Selain itu, tingginya kadar air (>90%) mempercepat kehilangan bobot melalui proses transpirasi, terutama pada kondisi kelembaban rendah.

Dari aspek mikrobiologi, stroberi sangat rentan terhadap infeksi jamur patogen seperti *Botrytis cinerea*, yang dikenal sebagai penyebab utama *gray mold*. Patogen ini mampu berkembang pada suhu rendah sekalipun, sehingga menjadi tantangan utama dalam penyimpanan dingin (Araby et al., 2024). Selain itu, keberadaan mikroorganisme lain seperti *Rhizopus stolonifer* dan *Aspergillus niger* juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas dan keamanan pangan.

Proses oksidatif juga memainkan peran penting dalam kerusakan stroberi. Produksi *reactive oxygen species* (ROS) selama penyimpanan dapat menyebabkan peroksidasi lipid, kerusakan membran sel, serta degradasi senyawa bioaktif seperti vitamin C dan antosianin (Zhou et al., 2025). Oleh karena itu, pengendalian stres oksidatif menjadi salah satu strategi utama dalam mempertahankan kualitas stroberi pascapanen.

Edible coating sebagai Sistem *Barrier* dan Bioaktif

Edible coating merupakan teknologi berbasis biopolimer yang dirancang untuk membentuk lapisan pelindung pada permukaan buah, sehingga dapat mengontrol pertukaran gas (O₂ dan CO₂) serta uap air antara produk dan lingkungan. Lapisan ini bersifat semi-permeabel, yang memungkinkan terciptanya kondisi atmosfer termodifikasi secara mikro di sekitar buah (Bai et al., 2024). Secara umum, bahan penyusun *edible coating* dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama: 1. Polisakarida (kitosan, alginat, pektin) → unggul dalam *barrier* gas, 2. Protein (gelatin, *whey protein*, zein) → memiliki sifat mekanik baik, 3. Lipid → efektif dalam menghambat kehilangan air. Namun, masing-masing bahan memiliki keterbatasan, sehingga formulasi komposit sering digunakan untuk mengoptimalkan sifat *barrier* dan mekanik (Kumar et al., 2025).

Mekanisme kerja *edible coating* tidak hanya terbatas pada fungsi fisik sebagai penghalang, tetapi juga melibatkan aktivitas biokimia. Kitosan, misalnya, memiliki aktivitas antimikroba melalui interaksi elektrostatik antara gugus amina bermuatan positif (NH₃⁺) dengan membran sel mikroba bermuatan negatif, yang menyebabkan kebocoran komponen intraseluler dan kematian sel (Aaraby et al., 2024). Selain itu, *edible coating* juga mampu menginduksi sistem pertahanan alami buah melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan seperti *superoksida dismutase* (SOD) dan katalase (CAT) (Gautam et al., 2025).

Penggunaan *edible coating* juga terbukti mampu menurunkan laju respirasi dan produksi etilen, sehingga memperlambat proses pematangan dan *senescence*. Hal ini berkaitan dengan terbatasnya difusi oksigen ke dalam jaringan buah akibat adanya lapisan *coating* (Bai et al., 2024).

Edible coating Berbasis Senyawa Bioaktif dan *Natural Extract*

Perkembangan *edible coating* saat ini menunjukkan tren penggunaan senyawa bioaktif alami seperti minyak atsiri, ekstrak tanaman, dan peptida antimikroba untuk meningkatkan efektivitas preservasi. Senyawa-senyawa ini memiliki aktivitas *antifungal*, antibakteri, dan antioksidan yang dapat memperpanjang umur simpan buah secara signifikan (Hassani et al., 2025; Kumar et al., 2025).

Minyak atsiri, seperti *thymol*, *cinnamaldehyde*, dan *carvacrol*, bekerja dengan cara merusak membran sel mikroba dan mengganggu metabolisme sel. Namun, volatilitas dan ketidakstabilan senyawa ini menjadi tantangan dalam aplikasinya. Oleh karena itu, teknik enkapsulasi digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitasnya (Lu et al., 2025).

Selain itu, ekstrak tanaman seperti teh hijau, kunyit, dan *moringa* juga banyak digunakan karena kandungan polifenol yang tinggi. Senyawa ini berperan sebagai antioksidan yang mampu menekan pembentukan ROS serta mempertahankan kualitas nutrisi dan warna buah (Yang et al., 2022; Braham et al., 2026).

Perkembangan Nanoteknologi dalam *Edible coating*

Integrasi nanoteknologi dalam *edible coating* telah membuka peluang baru dalam meningkatkan performa sistem preservasi. Nanoemulsi, nanopartikel, dan nanokomposit memungkinkan peningkatan luas permukaan serta interaksi antara bahan aktif dan mikroorganisme, sehingga meningkatkan efektivitas antimikroba (Cen et al., 2026). Salah satu keunggulan utama nanoteknologi adalah kemampuan dalam sistem *controlled release*, di mana senyawa bioaktif dilepaskan secara bertahap sesuai kondisi lingkungan. Hal ini memungkinkan perlindungan yang lebih lama dan efisien dibandingkan sistem konvensional (Mou et al., 2025).

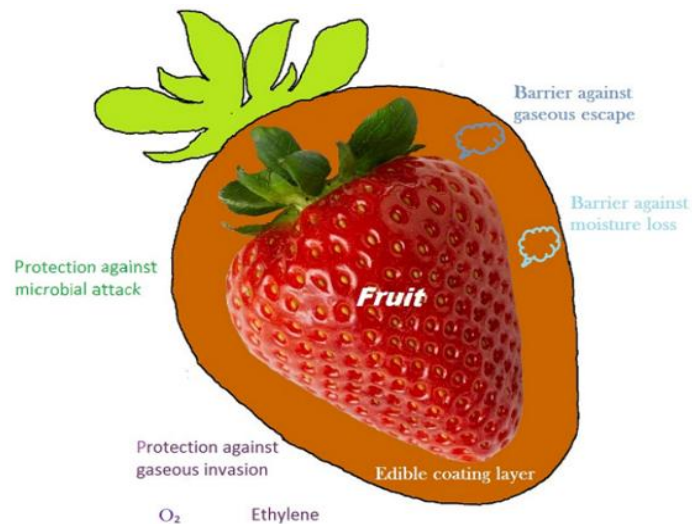
Selain itu, penggunaan material seperti *metal-organic frameworks* (MOF) dan *carbon dots* menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan sifat mekanik, *barrier*, serta aktivitas antibakteri melalui mekanisme fotodinamik atau produksi ROS (Jiang et al., 2026; Sun et al., 2026). Pendekatan ini menunjukkan bahwa *edible coating* tidak hanya berfungsi sebagai pelindung pasif, tetapi juga sebagai sistem aktif yang responsif terhadap lingkungan.

Teknologi *Packaging*: *Active Packaging*, *Modified Atmosphere Packaging*, dan *Smart Packaging*

Teknologi *packaging* memainkan peran krusial dalam menjaga kualitas stroberi selama distribusi. *Modified atmosphere packaging* (MAP) bekerja dengan mengatur komposisi gas dalam kemasan untuk menekan respirasi dan memperlambat pertumbuhan mikroba. Kondisi optimal umumnya berada pada kadar oksigen rendah ($\approx 3\text{--}5\%$) dan karbon dioksida moderat ($\approx 5\text{--}10\%$) (Zhou et al., 2025).

Active packaging melibatkan penggunaan agen aktif seperti minyak atsiri, gas ClO_2 , atau peptida antimikroba yang dilepaskan secara terkendali ke dalam ruang kemasan. Sistem ini memungkinkan penghambatan mikroba tanpa kontak langsung dengan produk, sehingga meningkatkan keamanan pangan (Chen et al., 2025).

Sementara itu, *smart packaging* merupakan inovasi yang mampu memonitor kondisi produk secara *real-time* melalui indikator perubahan warna atau sensor berbasis nanomaterial. Teknologi ini memungkinkan deteksi dini kerusakan, sehingga dapat mengurangi kehilangan produk selama distribusi (Wu et al., 2025).



Gambar 1. Ilustrasi *Edible coating* Stroberi.

Integrasi Multi-Teknologi dalam Sistem Preservasi

Pendekatan terbaru dalam preservasi stroberi tidak lagi mengandalkan satu teknologi tunggal, melainkan mengintegrasikan berbagai metode untuk mencapai efek sinergis. Kombinasi *edible coating*, *active packaging*, dan penyimpanan dingin terbukti mampu memberikan perlindungan yang lebih optimal dibandingkan penggunaan individual (Rasouli et al., 2025). Selain itu, integrasi dengan teknologi non-termal seperti *cold plasma* dan hipobarik juga menunjukkan potensi dalam meningkatkan keamanan mikrobiologis tanpa merusak kualitas sensori buah (Eseose et al., 2026). Pendekatan ini mencerminkan tren menuju sistem preservasi yang lebih holistik dan berkelanjutan.

Arah Perkembangan dan Tantangan Penelitian

Meskipun berbagai teknologi telah menunjukkan efektivitas yang tinggi, masih terdapat beberapa tantangan dalam implementasinya, seperti: (1) stabilitas bahan bioaktif, (2) biaya produksi nanomaterial, (3) skalabilitas industri, (4) penerimaan konsumen. Selain itu, sebagian besar penelitian masih dilakukan pada skala laboratorium, sehingga diperlukan studi lebih lanjut pada kondisi nyata rantai pasok (*real supply chain*) untuk memastikan efektivitas teknologi dalam skala komersial (Misumi et al., 2025). Ke depan, pengembangan *edible coating* dan *packaging* diharapkan mengarah pada sistem yang lebih cerdas, responsif, dan berkelanjutan, dengan memanfaatkan limbah agroindustri sebagai bahan baku serta integrasi teknologi digital untuk monitoring kualitas produk secara *real-time*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan penelitian terkait efektivitas teknologi pengemasan dalam memperpanjang umur simpan stroberi (*Fragaria × ananassa*). Pendekatan ini dilakukan dengan mengumpulkan, menyaring, dan menganalisis artikel penelitian yang relevan secara sistematis berdasarkan kriteria tertentu.

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Data diperoleh dari database ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, dengan rentang publikasi tahun 2016–2026. Pencarian literatur dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci (*Boolean operators*) sebagai berikut:

- a. ("strawberry" OR "*Fragaria × ananassa*") AND
- b. ("*shelf life*" OR "postharvest") AND
- c. ("packaging" OR "*edible coating*")

Pencarian dibatasi pada: jenis dokumen: artikel penelitian (*research article*) bidang: *food science, postharvest technology*.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria berikut: Penelitian eksperimental pada stroberi segar. Menggunakan teknologi pengemasan (MAP, *edible coating*, *active packaging*, *nanocomposite*). Menyajikan data umur simpan atau parameter kualitas (misalnya *weight loss*, *firmness*, atau mikrobiologi). Kondisi penyimpanan pada suhu $\geq 20^{\circ}\text{C}$ (*ambient storage*). Artikel terindeks Scopus dan tersedia dalam teks lengkap

Proses Seleksi Literatur

Proses seleksi dilakukan dalam beberapa tahap sesuai PRISMA: Identifikasi Artikel dikumpulkan dari database Scopus berdasarkan kata kunci yang telah ditentukan. *Screening*: Duplikasi artikel dihapus, kemudian dilakukan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak. *Eligibility*: Artikel yang lolos *screening* dievaluasi secara *full-text* untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria inklusi. Inklusi: Artikel yang memenuhi seluruh kriteria dimasukkan dalam analisis akhir. Berdasarkan proses tersebut, dari 109 artikel ilmiah diperoleh sebanyak 35 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan dalam analisis lebih lanjut pada studi yang menerapkan *coating langsung* pada permukaan buah, baik melalui metode pencelupan (*dip*) maupun penyemprotan (*spray*) dan artikel yang membahas parameter kualitas atau umur simpan selama penyimpanan.

Validitas dan Analisis Data

Untuk memastikan kualitas data, hanya artikel yang berasal dari jurnal internasional bereputasi memiliki metodologi yang jelas menyajikan data kuantitatif yang terukur yang dimasukkan dalam analisis. Selain itu, proses seleksi dilakukan secara sistematis untuk meminimalkan bias. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil antar studi untuk melihat pola umum terkait efektivitas *edible coating*. Fokus analisis meliputi: 1. Jenis bahan *coating* yang digunakan, 2. Mekanisme kerja yang dominan, 3. Pengaruh kondisi penyimpanan terhadap umur simpan. Selain itu, dilakukan juga identifikasi keterbatasan yang terdapat dalam masing-masing studi, seperti kurangnya data kontrol atau variasi metode yang digunakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Umum Penelitian *Edible coating* pada Stroberi

Berdasarkan hasil *systematic literature review*, diperoleh 35 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dari total 109 artikel awal yang diseleksi menggunakan pendekatan *strict edible coating only*. Berdasarkan Tabel 1 dan grafik hasil sintesis, penelitian mengenai *edible coating* pada stroberi didominasi oleh penggunaan *coating* berbasis kitosan, baik dalam bentuk tunggal maupun kombinasi dengan minyak esensial, ekstrak tanaman, senyawa fenolik, dan nanopartikel. Dominasi penggunaan kitosan menunjukkan bahwa bahan ini merupakan biopolimer yang paling banyak dikembangkan dalam preservasi stroberi karena memiliki aktivitas antimikroba alami serta kemampuan membentuk film yang baik.

Selain kitosan, beberapa bahan lain yang juga digunakan meliputi pektin, *alginate*, *carboxymethyl cellulose* (CMC), *arabinoxylan*, *guar gum*, *kefiran*, dan protein biji aprikot. Berdasarkan grafik hasil sintesis, sebagian besar penelitian dilakukan pada kondisi penyimpanan dingin sekitar 4–5°C, meskipun beberapa studi juga mengevaluasi efektivitas *coating* pada suhu ruang. Hasil sintesis menunjukkan bahwa seluruh penelitian melaporkan adanya peningkatan kualitas dan perlambatan kerusakan stroberi setelah aplikasi *edible coating*, meskipun tidak seluruh artikel melaporkan data *shelf life* secara kuantitatif. Hal ini menunjukkan bahwa *edible coating* memiliki potensi yang besar sebagai teknologi preservasi pascapanen stroberi.

Pengaruh Jenis *Edible coating* terhadap Umur Simpan Stroberi

Coating Berbasis Kitosan

Berdasarkan Tabel 1 dan grafik pada gambar 2, *coating* berbasis kitosan merupakan sistem *coating* yang paling dominan digunakan dalam preservasi stroberi. Kitosan digunakan

baik sebagai matriks utama maupun dikombinasikan dengan ekstrak tanaman, polifenol, nanoemulsi minyak esensial, serta nanopartikel ZnO. Dominasi penggunaan kitosan menunjukkan bahwa bahan ini memiliki karakteristik yang paling sesuai untuk mempertahankan kualitas stroberi selama penyimpanan.

Feng et al. (2024) menunjukkan bahwa *coating* berbasis kitosan dan ekstrak hawthorn mampu mempertahankan kualitas stroberi melalui peningkatan aktivitas antioksidan. Kumar et al. (2025) juga melaporkan bahwa kombinasi kitosan dan polifenol mampu memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas sensori (warna) stroberi hingga 8 hari pada suhu 5. Iñiguez-Moreno et al. (2025) juga menunjukkan bahwa *coating* berbasis kitosan–gelatin–SA mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 14 hari pada suhu dingin.

Berdasarkan grafik hasil sintesis, *coating* berbasis kitosan bekerja melalui mekanisme antimikroba dan pembentukan lapisan semi-permeabel yang mampu menekan laju respirasi dan kehilangan air. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kitosan juga mampu meningkatkan aktivitas antioksidan buah sehingga degradasi kualitas dapat diperlambat selama penyimpanan. Temuan ini menunjukkan bahwa *coating* berbasis kitosan merupakan pendekatan preservasi yang paling konsisten dalam berbagai kondisi penyimpanan.

Tabel 1. Hasil review 35 artikel (hasil penelitian mengenai pengaruh *edible coating* terhadap umur simpan stroberi).

No	Penulis	Tahun	Jenis <i>Coating</i>	Suhu	Shelf life kontrol	Shelf life perlakuan	Mekanisme
1	Abera et al.	2024	Pati pisang + kitosan + gliserol	Ruang	tidak dilaporkan	hingga 28 hari	Antimikroba + <i>barrier</i>
2	Urango et al.	2025	Pektin + whey + bioaktif (aplikasi <i>coating</i>)	Dingin	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Carrier bioaktif
3	Aldrey et al.	2025	Nano pati + minyak esensial	4°C	tidak dilaporkan	10 hari	Antioksidan + antifungi
4	Kunadu et al.	2025	Zein–kitosan nano	Ruang & dingin	tidak dilaporkan	5 & 15 hari	Antimikroba nano
5	Gautam et al.	2025	<i>Alginate</i> + SNP	Dingin	tidak dilaporkan	16 hari	Antioksidan + respirasi
6	Bai et al.	2024	Arabinoxylan <i>coating</i>	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	<i>Barrier</i>
7	Braham et al.	2026	Pektin + Moringa	4°C	tidak dilaporkan	11 hari	Antioksidan
8	Cen et al.	2026	Nanoemulsi minyak esensial	Ruang	tidak dilaporkan	8 hari	Antimikroba
9	Darwesh et al.	2026	Nanogel kurkumin	27–40°C	2 hari	6 hari	Antioksidan
10	Feng et al.	2024	Kitosan + ekstrak hawthorn	Dingin	tidak dilaporkan	4–5 hari	Antioksidan

11	Gigante et al.	2025	Guar gum + limbah	Ruang	tidak dilaporkan	9 hari	Antimikroba
12	Hassani et al.	2025	Aloe vera + nano EO	Dingin	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antifungal
13	Huang et al.	2026	Kitosan + nanoemulsi EO	Dingin	tidak dilaporkan	8 hari	Antifungi
14	Khodaei et al.	2021	CMC / pektin / gum	Dingin	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	<i>Barrier</i>
15	Kumar et al.	2025	Kitosan + polifenol	Ruang	tidak dilaporkan	8 hari	Antioksidan
16	Marques et al.	2025	Kefiran <i>coating</i>	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antibiofilm
17	Íñiguez-Moreno et al.	2025	Kitosan–gelatin–SA	Dingin	tidak dilaporkan	14 hari	Antimikroba
18	Mostafa et al.	2025	Mucilage + probiotik	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Biokontrol
19	Mzia et al.	2025	Kitosan serangga	Dingin	tidak dilaporkan	12 hari	Antimikroba
20	Nekouei et al.	2025	HA nano + ekstrak	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antioksidan
21	Rabasco-Vílchez et al.	2024	Kitosan + LCNF + ekstrak	5°C	tidak dilaporkan	16 hari	Antifungi
22	Saleh et al.	2022	Ekstrak + kitosan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	2,32×	Antimikroba
23	Sani et al.	2025	Kitosan + ZnO nano	Ruang & dingin	tidak dilaporkan	hingga 30 hari	Antibakteri
24	Shizari et al.	2025	Nanoemulsi minyak esensial	Ruang	tidak dilaporkan	9 hari	Antimikroba
25	Soni et al.	2026	Kitosan + nano EO	Ruang	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antifungi
26	Sun et al.	2026	<i>Alginate</i> + carbon dots	Ruang	tidak dilaporkan	8 hari	Antimikroba
27	Tang et al.	2026	Pickering emulsion <i>coating</i>	Ruang	tidak dilaporkan	7 hari	<i>Barrier</i>
28	Tran et al.	2023	CMC + minyak atsiri	Dingin	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antifungi
29	Vitti et al.	2024	Kitosan serangga	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	Antifungal
30	Yang et al.	2022	Kitosan + herbal	Ruang	tidak dilaporkan	7–8 hari	Antioksidan
31	Zahra et al.	2025	Xyloglucan + ekstrak	Ruang	tidak dilaporkan	8 hari	<i>Barrier</i>
32	Zebua et al.	2025	Pektin + lemon	4°C	tidak dilaporkan	12 hari	Antioksidan
33	Zhang et al.	2026	Kitosan termodifikasi OSA	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	tidak dilaporkan	<i>Barrier</i>
34	Zhou et al.	2025	Kitosan + askorbat + kurkumin	4°C	tidak dilaporkan	15 hari	Antioksidan
35	Zenasni et al.	2026	Protein biji aprikot	25°C	tidak dilaporkan	7 hari	<i>Barrier</i>

Coating Berbasis Polisakarida

Selain kitosan, beberapa penelitian juga menggunakan *coating* berbasis polisakarida seperti pektin, *alginate*, CMC, dan arabinoxylan. Berdasarkan Tabel 1, *coating* jenis kiumumnya bekerja melalui mekanisme *barrier* dengan mengurangi kehilangan air dan memperlambat pertukaran gas pada permukaan buah. Gautam et al. (2025) melaporkan bahwa *coating* berbasis *alginate* dan SNP mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 16 hari pada suhu dingin melalui aktivitas antioksidan dan penghambatan respirasi. Braham et al. (2026) menunjukkan bahwa kombinasi pektin dan moringa mampu mempertahankan umur simpan stroberi hingga 11 hari pada suhu dingin, sedangkan Zebua et al. (2025) melaporkan bahwa *coating* pektin dan lemon mampu mempertahankan kualitas buah hingga 12 hari pada suhu 4°C.

Berdasarkan hasil sintesis, *coating* berbasis polisakarida juga memiliki efektivitas yang cukup baik terutama pada penyimpanan dingin. Namun demikian, aktivitas antimikroba *coating* jenis ini cenderung lebih rendah dibanding *coating* berbasis kitosan sehingga sering dikombinasikan dengan bahan bioaktif seperti ekstrak tanaman dan minyak esensial untuk meningkatkan efektivitas preservasi.

Coating Berbasis Protein dan Biopolimer Alternatif

Beberapa penelitian dalam hasil sintesis juga menunjukkan penggunaan *coating* berbasis protein dan biopolimer alternatif. Kunadu et al. (2025) menggunakan zein kitosan nano untuk meningkatkan stabilitas kualitas stroberi pada suhu ruang dan dingin. Zenasni et al. (2026) melaporkan bahwa protein biji aprikot mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 7 hari pada suhu ruang melalui mekanisme *barrier*.

Selain itu, Marques et al. (2025) menggunakan *kefiran coating* yang memiliki aktivitas antibiofilm, sedangkan Urango et al. (2025) memanfaatkan kombinasi pektin dan *whey* sebagai *carrier* senyawa bioaktif. Berdasarkan grafik hasil sintesis, penggunaan protein dan biopolimer alternatif masih relatif lebih sedikit dibanding kitosan dan polisakarida lainnya. Namun demikian, bahan-bahan tersebut menunjukkan potensi yang cukup baik sebagai alternatif *edible coating* yang lebih inovatif dan berkelanjutan untuk aplikasi preservasi buah segar.

Pengaruh Nanoteknologi dan Senyawa Bioaktif terhadap Efektivitas Coating

Berdasarkan Tabel 1 dan grafik hasil sintesis, *edible coating* berbasis nanoteknologi menunjukkan performa preservasi yang lebih tinggi dibanding sistem *coating* konvensional. Sani et al. (2025) melaporkan bahwa *coating* berbasis kitosan dan nanopartikel ZnO mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 30 hari, yang merupakan hasil tertinggi dalam data set penelitian ini. Hasil serupa juga ditemukan oleh Vilchez et al. (2024) melalui kombinasi

kitosan, LCNF, dan ekstrak bioaktif yang mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 16 hari pada suhu dingin.

Nanoemulsi minyak esensial juga menunjukkan efektivitas preservasi yang cukup tinggi. Cen et al. (2026) dan Shizari et al. (2025) melaporkan bahwa *coating* berbasis nanoemulsi minyak esensial mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 8–9 hari pada suhu ruang melalui aktivitas antimikroba dan antifungal yang tinggi. Huang et al. (2026) juga menunjukkan bahwa kombinasi kitosan dan nanoemulsi minyak esensial efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur selama penyimpanan dingin.

Berdasarkan grafik hasil sintesis, penggunaan nanoteknologi mampu meningkatkan stabilitas senyawa aktif, memperluas kontak antimikroba, serta memperkuat sifat *barrier coating*. Sistem nanoemulsi dan nanopartikel juga memungkinkan terjadinya pelepasan senyawa aktif secara terkendali (*controlled release*), sehingga aktivitas antimikroba dan antioksidan dapat berlangsung lebih stabil selama penyimpanan.

Selain itu, penambahan senyawa bioaktif alami seperti polifenol, kurkumin, askorbat, dan ekstrak tanaman menunjukkan efek sinergis dalam meningkatkan aktivitas antioksidan dan antimikroba *coating*. Zhou et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi kitosan, askorbat, dan kurkumin mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 15 hari pada suhu dingin. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi nanoteknologi dan senyawa bioaktif merupakan arah pengembangan *edible coating* yang paling menjanjikan pada masa mendatang.

Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Efektivitas *Edible coating*

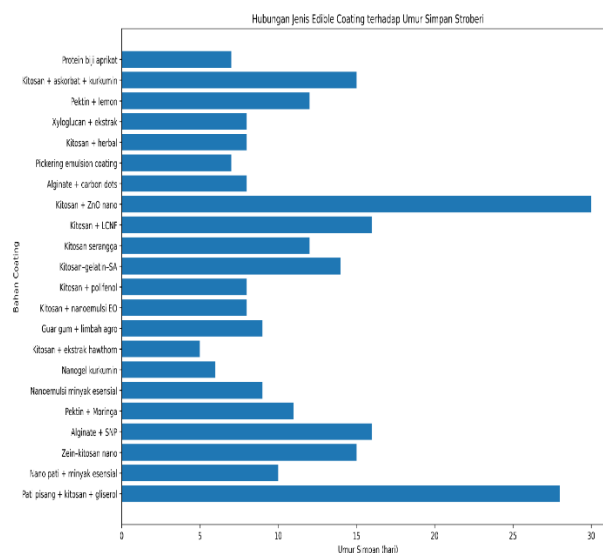
Berdasarkan grafik hasil sintesis, suhu penyimpanan menjadi faktor eksternal yang sangat memengaruhi efektivitas *edible coating* dalam mempertahankan kualitas stroberi. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa *coating* memberikan performa yang lebih optimal pada suhu dingin dibanding suhu ruang. Gautam et al. (2025), Braham et al. (2026), Zebua et al. (2025), dan Zhou et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi *edible coating* dan penyimpanan dingin mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 11–16 hari.

Sebaliknya, pada suhu ruang, degradasi kualitas buah berlangsung lebih cepat sehingga *coating* lebih berfungsi sebagai penghambat kerusakan dibanding solusi preservasi utama. Meskipun demikian, beberapa sistem *nano-coating* tetap menunjukkan performa yang cukup baik pada suhu ruang. Sani et al. (2025) menunjukkan bahwa *coating* berbasis kitosan dan nanopartikel ZnO mampu mempertahankan kualitas stroberi hingga 30 hari pada kombinasi penyimpanan ruang dan dingin. Darwesh et al. (2026) juga menunjukkan bahwa nanogel kurkumin mampu memperpanjang umur simpan stroberi dari 2 hari menjadi 6 hari pada suhu 27–40°C. Berdasarkan hasil sintesis tersebut, *edible coating* sebaiknya dipandang sebagai

teknologi komplementer terhadap penyimpanan dingin, bukan sebagai pengganti sistem rantai dingin sepenuhnya.

Mekanisme Kerja *Edible coating* dalam Mempertahankan Kualitas Stroberi

Berdasarkan Tabel 1 dan Grafik hasil sintesis, *edible coating* bekerja melalui beberapa mekanisme utama, yaitu aktivitas antimikroba, penghambatan respirasi, pengurangan kehilangan air, serta perlindungan terhadap oksidasi. Mekanisme tersebut menyebabkan penurunan laju kerusakan buah sehingga kualitas fisik dan kimia stroberi dapat dipertahankan lebih lama selama penyimpanan. *Coating* berbasis kitosan dan minyak esensial umumnya bekerja melalui aktivitas antimikroba dan antifungal. Cen et al. (2026), Huang et al. (2026), dan Soni et al. (2026) menunjukkan bahwa minyak esensial dalam bentuk nanoemulsi mampu meningkatkan penghambatan pertumbuhan mikroba pada permukaan buah. Sementara itu, *coating* berbasis polisakarida seperti pektin, *alginate*, dan CMC lebih dominan bekerja sebagai *barrier* terhadap pertukaran gas dan kehilangan air.



Gambar 2. Hubungan Jenis *Edible coating* Terhadap Umur Simpan.

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan senyawa bioaktif mampu meningkatkan aktivitas antioksidan *coating* sehingga stres oksidatif selama penyimpanan dapat ditekan. *Edible coating* berperan dalam menghambat degradasi oksidatif melalui penekanan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan penurunan warna, tekstur, dan kandungan vitamin C stroberi. Zhou et al. (2025), Kumar et al. (2025), dan Braham et al. (2026) menunjukkan bahwa kombinasi *coating* dan antioksidan alami mampu mempertahankan warna, tekstur, dan kualitas sensori stroberi lebih lama. Berdasarkan grafik hasil sintesis, mekanisme antimikroba dan antioksidan merupakan mekanisme yang paling dominan dilaporkan dalam penelitian *edible coating* stroberi.

Keterbatasan Metodologis dalam Literatur

Meskipun hasil sintesis menunjukkan bahwa *edible coating* memiliki potensi yang sangat baik dalam preservasi stroberi, masih terdapat beberapa keterbatasan metodologis dalam penelitian yang dianalisis. Berdasarkan Tabel 1, sebagian besar artikel tidak melaporkan data *shelf life* kontrol secara kuantitatif sehingga menyulitkan proses komparasi langsung antar penelitian. Selain itu, terdapat variasi yang cukup besar pada suhu penyimpanan, metode aplikasi *coating*, konsentrasi bahan aktif, dan parameter evaluasi kualitas buah.

Berdasarkan grafik hasil sintesis, sebagian besar penelitian juga masih dilakukan pada skala laboratorium sehingga efektivitas *coating* dalam kondisi rantai pasok nyata belum sepenuhnya diketahui. Variasi metode pengujian menyebabkan standarisasi hasil antar penelitian menjadi sulit dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan keselarasan metodologi penelitian dan pengujian pada skala industri agar implementasi *edible coating* dapat dikembangkan secara lebih luas dan objektif.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil *systematic literature review* terhadap 35 artikel terpilih dari total 109 artikel awal, dapat disimpulkan bahwa *edible coating* efektif dalam memperpanjang umur simpan dan kualitas buah Stroberi. Efektivitas tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan, formulasi, dan kondisi penyimpanan. Kitosan menjadi bahan yang paling dominan digunakan, sedangkan penambahan senyawa bioaktif dan nanoteknologi meningkatkan performa *coating*.

Hasil sintesis juga menunjukkan bahwa *coating* berbasis nano memiliki efektivitas lebih tinggi dibanding sistem konvensional, terutama dalam meningkatkan stabilitas senyawa aktif dan aktivitas antimikroba. Selain itu, suhu penyimpanan tetap menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan preservasi, sehingga *edible coating* lebih tepat diposisikan sebagai teknologi komplementer terhadap penyimpanan dingin. Meskipun demikian, keterbatasan seperti kurangnya data kontrol dan variasi metode antar studi masih menjadi kendala dalam analisis komparatif. Oleh karena itu, diperlukan standarisasi metodologi dan pengujian pada skala industri untuk mendukung implementasi teknologi ini secara lebih luas.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk: 1. Mengembangkan standarisasi metode pengujian *shelf life* agar hasil antar studi lebih mudah dibandingkan. 2. Melakukan uji skala industri dan simulasi rantai pasok nyata untuk mengevaluasi efektivitas *coating* pada kondisi komersial. 3. Mengoptimalkan penggunaan bahan alami dan limbah agroindustri sebagai sumber biopolimer *coating* yang lebih berkelanjutan. 4. Mengembangkan *edible coating* berbasis nanoteknologi dengan fokus pada keamanan pangan dan stabilitas jangka panjang.

5. Melakukan evaluasi sensori dan penerimaan konsumen terhadap stroberi yang diberi *edible coating* untuk mendukung implementasi industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknologi Pangan Universitas Mataram dengan segala fasilitasnya sehingga penulis bisa mengakses berbagai jurnal internasional sebagai bahan utama pembuatan artikel review ini.

DAFTAR REFERENSI

- Abera, B., Duraisamy, R., & Birhanu, T. (2024). Study on the preparation and use of *edible coating* of fish scale chitosan and glycerol blended banana pseudostem starch for the preservation of apples, mangoes, and strawberries. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, Article 100916. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100916>
- Bai, Z., Lan, H., Li, J., Geng, M., Luo, D., Feng, J., Li, X., & Zhang, Y. (2024). Recycling of wheat gluten wastewater: Recovery of arabinoxylan and application of its film in cherry and strawberry preservation. *Food Chemistry: X*, 22, Article 101415. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101415>
- Braham, F., Souza, H. K. S., Magalhães, J. M. C. S., Zaidi, F., & Gonçalves, M. P. (2026). Enhancing the quality and shelf life of strawberries: Study of pectin-based films and application of *coatings* with natural deep eutectic solvents and *Moringa oleifera* leaf extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 361, Article 151923. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.151923>
- Cen, K., Zhao, Q., Lin, K., Li, X., Wang, C., Li, C., Xu, J., & Chen, J. (2026). Grapefruit peel essential oil nanoemulsion: Formulation optimization, physicochemical characterization, environmental stability, and application in strawberry preservation. *LWT*, 242, Article 119100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2026.119100>
- Chen, C., Ding, Y., Sun, Y., Li, X., Sun, C., Guo, F., Zeng, X., Gong, H., & Fan, X. (2025). Chitosan/pullulan *edible coatings* containing thyme essential oil nanoemulsion: Preparation, characterization and application in strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 309, Article 143043. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143043>
- Chen, S., Ma, W., Cao, Y., Qian, K., Dong, Q., & Li, L. (2025). Large-scale dual-responsive ClO₂ controlled-release film for strawberry preservation. *Food Chemistry*, 465, Article 141996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141996>
- Chen, Y., Zhu, C., Du, Y., Liu, Q., Yuan, S., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2025). Complex coacervation of ϵ -polylysine and glutenin: Phase behavior, interaction and as antimicrobial *edible coatings* on strawberry. *Food Chemistry*, 493, Article 145686. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145686>
- Darwesh, R., Siddiq, A., Alharthi, S., Alharthi, S., Al-Gahtany, S. A., Madani, M., & Ghobashy, M. M. (2026). Edible nanogel *coatings* based on PVP/gelatin/curcumin system for strawberries preservation in challenging storage environments. *Postharvest*

Biology and Technology, 233, Article 114052.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.114052>

- El-Araby, A., Janati, W., Ullah, R., Uddin, N., & Bari, A. (2024). Antifungal efficacy of chitosan extracted from shrimp shell on strawberry (*Fragaria × ananassa*) postharvest spoilage fungi. *Heliyon*, 10(7), e29286. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29286>
- Eseose, H., Melendez, M., Benigno, M., Sugumaran, D., & Sathivel, S. (2026). Cold plasma treatment duration for surface decontamination of strawberries: Impacts on pathogenic microorganisms and physicochemical quality. *Food Control*, 184, Article 112019. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112019>
- Feng, X., Li, S., Sun, Z., Yuan, H., Li, R., Yu, N., Zhang, Y., & Chen, X. (2024). The preservation effect of chitosan-hawthorn leaf extract coating on strawberries. *Journal of Food Protection*, 87(4), Article 100244. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100244>
- Gautam, A., Gill, P. P. S., Singh, N. P., Jawandha, S. K., Jhanji, S., & Arora, R. (2025). Effect of sodium alginate functionalized with NO donor to maintain the postharvest quality and antioxidant enzyme activity of strawberry fruit under cold storage. *Journal of Stored Products Research*, 114, Article 102776. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102776>
- Hassani, B., Ebrahimi, F., Najafi, A., & Ziaolhagh, S. (2025). Investigation of the effect of aloe vera gel coating combined with free and encapsulated savory essential oil on the shelf life of strawberries. *Applied Food Research*, 5(2), Article 101269. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101269>
- Huang, X., Cai, R., Meng, L., Aziz, T., Alharbi, N. K., Shami, A., Alhodieb, F. S., Alsanie, S. A., Alblaji, M., Cui, H., & Shi, C. (2026). Antifungal efficiency of p-anisaldehyde nanoemulsions against *Botrytis cinerea* and its application in strawberry preservation. *Food Bioscience*, 76, 108333. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.108333>
- Iñiguez-Moreno, M., & González-González, R. B. (2025). Effect of gelatin and salicylic acid incorporated in chitosan coatings on strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 305, Article 140918. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140918>
- Jiang, N., Gao, Y., Qi, H., Wang, L., Li, S., Jiang, D., & Wang, M. (2026). A polysaccharide-based film synergistically reinforced by γ -cyclodextrin metal-organic framework embedded with trans-2-hexenal for extending shelf life of strawberry. *Food Hydrocolloids*, 173, Article 112239. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112239>
- Kaur, K., & Kumar, A. (2022). Enhancement of strawberry shelf life with coating: A review. *Modern Phytomorphology*, 16, 44–48.
- Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, 23, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.02.003>
- Kumar, L., Agwuncha, S. C., Tyagi, P., & Pal, L. (2025). Enhanced chitosan–microfibrillated cellulose hydrogen bonding for edible packaging and food shelf-life extension. *Food Packaging and Shelf Life*, 52, Article 101613. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.101613>
- Kumar, S., Shukla, P., Das, K., & Katiyar, V. (2025). Chitosan/water caltrop pericarp extract reinforced active edible film and its efficacy as strawberry coating for prolonging shelf

- life. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307, Article 142115. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142115>
- Kunadu, A. P. H., Arcot, Y., Cisneros-Zevallos, L., Barouei, J., Akbulut, M. E. S., & Matthew Taylor, T. (2025). Nanoencapsulation of curcumin and quercetin in zein-chitosan shells for enhanced broad-spectrum antimicrobial efficacy and shelf-life extension of strawberries. *Journal of Food Protection*, 88(6), Article 100517. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100517>
- Li, Y., Song, Y., Dong, G., Meng, D., Pan, M., & Wang, S. (2026). Gelatin-based film applying cyclodextrin metal-organic frameworks for controlled release of thyme essential oil: Development, characterization and application in fruit preservation. *Food Hydrocolloids*, 172, Article 112045. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112045>
- Lu, J., Zhang, Q., Hua, Y., Yan, Y., Cao, Y., & Li, W. (2025). Encapsulation of essential oils with soy β -conglycinin for strawberry preservation: Influence of oil types. *Food Chemistry*, 493, Article 145948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145948>
- Misumi, M., Watanabe, T., Nishi, F., Fukuyama, H., & Sone, K. (2025). Applicability and limitation of “accumulated distribution temperature” as an indicator for strawberry quality control investigated by an alternative shipping export test. *Scientia Horticulturae*, 339, Article 113880. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113880>
- Mou, L., Jiang, W., Lu, Y., Li, J., Li, G., Yuan, H., Jiang, Z., Zhang, L., & Ming, T. (2025). Strawberry preservation using multilayer chitosan films grafted with phenolic acids and loaded with γ -CD-MOFs encapsulated antifungal agents. *International Journal of Food Microbiology*, 439, Article 111247. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111247>
- Nimita, G. N. V. G. K. S., Vikanksha, Singh, J., & Kumar, A. (2026). Influence of active modified atmosphere packaging using silica gel and potassium permanganate on quality and shelf life of strawberry (*Fragaria* \times *ananassa* Duch.) cv. Nabila under ambient storage. *Food and Humanity*, 6, Article 101029. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101029>
- Rabasco-Vílchez, L., Jiménez-Jiménez, F., Possas, A., Morcillo-Martín, R., & Pérez-Rodríguez, F. (2024). Evaluation of the effect of nanocellulose *edible coating* on strawberries inoculated with *Aspergillus flavus* through image analysis. *LWT*, 191, Article 115697. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115697>
- Saleh, I., & Abu-Dieyeh, M. (2022). Novel *Prosopis juliflora* leaf ethanolic extract *coating* for extending postharvest shelf-life of strawberries. *Food Control*, 133, Article 108641. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108641>
- Sani, A., Hassan, D., Ehsan, M., Sánchez-Rodríguez, E. P., & Melo-Máximo, D. V. (2025). Improving strawberry shelf life using chitosan and zinc oxide nanoparticles from ginger-garlic extracts. *Applied Food Research*, 5(1), Article 100765. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100765>
- Shizari, P. A., Davoodi, F., Hassani, D., Amiri, S., & Hassani, B. (2025). Effect of nanoemulsion-based sage seed gum *coating* containing cinnamon essential oil on shelf life extension of strawberry. *Food Hydrocolloids for Health*, 8, Article 100242. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2025.100242>
- Sun, J., Chen, L., Li, H., Liu, X., Lin, L., Meng, L., Chen, T., Wen, Q., Xu, D., & Ren, J. (2026). Water-soluble monostearin-derived carbon dots with enhanced antibacterial

- capacity for food preservations. *Food Control*, 187, Article 112130. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112130>
- Urango, A. C. M., Meireles, M. A. A., & Silva, E. K. (2025). Emulsion-structured pectin-based edible films with whey protein and short-chain dietary fibers for geranylgeraniol encapsulation and strawberry preservation. *Food Chemistry: X*, 30, Article 102913. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102913>
- Wu, J., Zhang, Y., Zhang, F., Mi, S., Yu, W., Sang, Y., & Wang, X. (2025). Preparation of chitosan/polyvinyl alcohol antibacterial indicator composite film loaded with AgNPs and purple sweet potato anthocyanins and its application in strawberry preservation. *Food Chemistry*, 463, Article 141442. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141442>
- Yang, C., Lu, J. H., Xu, M. T., Shi, X. C., Song, Z. W., Chen, T. M., Herrera-Balandrano, D. D., Zhang, Y. J., Laborda, P., Shahriar, M., & Wang, S. Y. (2022). Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. *LWT*, 163, Article 113551. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113551>
- Zhang, S., Zhang, X., Wu, Y., Shi, Y., Wang, X., Wu, J., Chen, X., Liu, Y., Chen, S., & Zhu, J. (2025). Antimicrobial pullulan packaging materials embedded with sta