

Karakteristik Bioaktif dan Sifat Mekanik *Edible film* Berbasis *Whey* Keju sebagai Kemasan Pangan Fungsional: *Review*

Dewi Wulandari*, Amelia Fitaguri, Irfan Fadhlurrohmah

Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Jenderal Soedirman

*Email Korespondensi: dewiwuldri18@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya penggunaan kemasan plastik sintetis telah memicu berbagai permasalahan lingkungan, sehingga mendorong pengembangan kemasan pangan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu inovasi yang dapat dikembangkan adalah *edible film* berbasis protein yang memanfaatkan *whey* keju sebagai bahan baku. *Whey* keju, sebagai produk samping industri keju yang kaya protein (β -laktoglobulin dan α -laktalbumin), berpotensi dimanfaatkan sebagai matriks pembentuk *edible film*. Beberapa keunggulan *edible film* berbasis *whey* keju yang telah dilaporkan meliputi transparansi tinggi, sifat *barrier* terhadap oksigen yang baik, serta kandungan bioaktif alami yang berperan memberikan fungsi tambahan di luar fungsi utamanya sebagai bahan pengemas pangan. Karakteristik bioaktif maupun sifat mekanik *film* ini masih sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor formulasi seperti konsentrasi protein, jenis dan konsentrasi *plasticizer*, maupun faktor proses seperti kondisi pengeringan dan metode pembuatan *film* yang digunakan. Artikel *review* ini bertujuan mengkaji secara komprehensif karakteristik bioaktif dan sifat mekanik *edible film* berbasis *whey* keju berdasarkan berbagai hasil penelitian terdahulu, guna mengevaluasi potensinya sebagai kemasan pangan fungsional. Metode yang digunakan adalah penelusuran dan analisis berbagai literatur ilmiah yang relevan dari jurnal nasional maupun internasional yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa *edible film* berbasis *whey* keju memiliki aktivitas antioksidan dan kandungan senyawa bioaktif yang bervariasi tergantung pada karakteristik *whey* yang digunakan, serta menunjukkan sifat mekanik seperti kuat tarik dan elongasi pada saat putus yang dipengaruhi oleh komposisi formulasi dan interaksi antarmolekul protein. Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *edible film* berbasis *whey* keju memiliki prospek yang menjanjikan sebagai kemasan pangan fungsional yang ramah lingkungan, sehingga upaya optimasi formulasi masih perlu dilakukan untuk meningkatkan kestabilan karakteristik bioaktif dan sifat mekaniknya secara konsisten.

Kata kunci: Air Dadih, Antioksidan, Film Edible, Elongasi, Kuat Tarik, Total Fenol

Abstract

The increasing use of synthetic plastic packaging has led to various environmental problems, driving the development of more environmentally friendly and sustainable food packaging materials. One promising innovation is protein-based edible films produced from cheese whey. Cheese whey, a protein-rich by-product of the cheese industry containing β -lactoglobulin and α -lactalbumin, has considerable potential as a matrix-forming material for edible films. Several advantages of cheese whey-based edible films have been reported, including high transparency, excellent oxygen barrier properties, and the presence of naturally occurring bioactive compounds that provide additional functionality beyond their primary role as food packaging materials. However, the bioactive characteristics and mechanical properties of these films are strongly influenced by various factors, including formulation variables such as protein concentration, plasticizer type and concentration, as well as processing conditions such as drying parameters and film-forming methods. This review article aims to comprehensively evaluate the bioactive characteristics and mechanical properties of cheese whey-based edible films based on findings from previous studies in order to assess their potential as functional food packaging. The review was conducted through a systematic search and analysis of relevant scientific literature published in national and international journals over the past ten years. The findings indicate that cheese whey-based edible films exhibit varying antioxidant activity and bioactive compound content depending on the characteristics of the whey used, while their mechanical properties, including tensile strength and elongation at break, are influenced by formulation composition and intermolecular protein interactions. Overall, cheese whey-based edible films demonstrate promising potential as environmentally friendly functional food packaging, although further formulation optimization is required to achieve consistent bioactive characteristics and mechanical performance.

Keywords: Antioxidants, Edible Film, Elongation, Tensile Strength, Total Fenol, Whey

PENDAHULUAN

Kemasan plastik bahan sintesis merupakan suatu permasalahan lingkungan yang mendesak di era modern ini. Plastik konvensional yang terbuat dari bahan sintesis non-*biodegradable* menyumbang secara signifikan terhadap pencemaran lingkungan karena sulit terurai secara alami yang dapat bertahan hingga ratusan tahun (Maulidia and Azizah, 2025)). Akumulasi sampah plastik tersebut akan merugikan ekosistem alami di bumi. Seiring dengan berkembangnya waktu, *film* plastik *biodegradable* menjanjikan dalam upaya mengatasi masalah lingkungan yang diakibatkan oleh plastik sintesis. Di samping itu, permasalahan limbah hasil pengolahan keju masih menjadi tantangan karena pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal. Salah satu inovasi yang dapat dikembangkan untuk menciptakan *film biodegradable* adalah *edible film* berbasis *whey* protein yang berasal dari limbah keju.

Meningkatnya produksi keju menyebabkan jumlah *whey* sebagai hasil samping ikut bertambah setiap tahunnya. Menurut Stevanie *et al.* (2024), proses pengolahan susu dapat menghasilkan sekitar 960–1080 liter *whey*. Sebagian besar *whey* tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal, bahkan masih dibuang sebagai limbah. Padahal, *whey* memiliki nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa melalui proses pengolahan. Oleh sebab itu, pemanfaatan *whey* menjadi produk yang memiliki nilai tambah menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi dampak pencemaran sekaligus mendukung penerapan konsumsi dan produksi berkelanjutan sebagaimana tercantum dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 12. *Whey* keju mengandung β -laktoglobulin, α -laktalbumin, serum albumin, immunoglobulin, laktoferin, laktoferoksidase dan glikomakropeptida (Asmarasari *et al.*, 2019). Kandungan tersebut membuat *whey* berpotensi dimanfaatkan menjadi matriks pembentuk *edible film*. Protein *whey* mempunyai kemampuan membentuk jaringan *film* yang kuat melalui proses denaturasi dan pembentukan ikatan antarmolekul sehingga menghasilkan lapisan tipis dengan sifat mekanik yang cukup baik. Karakteristik tersebut menjadikan *whey* sebagai salah satu biomaterial yang banyak diteliti, dengan sifat kuat tarik dan elongasi yang bergantung pada konsentrasi protein, jenis dan kadar *plasticizer*, kondisi pemanasan, serta keberadaan komponen bioaktif tambahan.

Karakteristik bioaktif maupun sifat mekanik *edible film* berbasis *whey* keju masih sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor formulasi seperti konsentrasi protein,

serta jenis dan konsentrasi *plasticizer* maupun faktor proses, seperti kondisi pengeringan dan metode pembuatan *film* yang digunakan (*casting*, ekstrusi, dan lain-lain). Variasi faktor-faktor tersebut antarpelelitian menghasilkan data kandungan bioaktif, kuat tarik, dan elongasi yang beragam dan kadang saling bertolak belakang, terutama pada *film* yang ditambahkan komponen bioaktif seperti minyak atsiri, yang efeknya terhadap sifat mekanik tidak selalu konsisten arahnya antarstudi. Sebagian besar penelitian juga masih didominasi pada optimasi satu variabel formulasi tertentu, tanpa menghubungkan karakteristik bioaktif dengan sifat mekanik secara komprehensif. Berlandaskan pada kesenjangan ilmiah tersebut, artikel *review* ini bertujuan mengkaji secara komprehensif karakteristik bioaktif dan sifat mekanik *edible film* berbasis *whey* keju berdasarkan berbagai hasil penelitian terdahulu, guna mengevaluasi potensinya sebagai kemasan pangan fungsional.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan artikel ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) yang mengkaji dari jurnal nasional maupun internasional yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir dengan pendekatan deskriptif terkait karakteristik bioaktif dan sifat mekanik *edible film* berbasis *whey* keju sebagai kemasan pangan fungsional. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui penelusuran jurnal, kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan topik penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Limbah *Whey* Keju sebagai Bahan Baku *Edible Film*

Whey keju merupakan bagian cair dari sisa hasil proses produksi keju. Walaupun sering dianggap sebagai limbah, namun *whey* sebenarnya kaya akan komponen nilai gizi yang berpotensi apabila dimanfaatkan secara lebih luas dan optimal. Secara umum, *whey* mengandung protein larut, laktosa, lemak, mineral seperti kalsium dan fosfor, serta vitamin larut air dalam kadar cukup tinggi. *Whey* keju mengandung air sebesar 95,1%, protein sebesar 0,85%, lemak sebesar 0,27%, laktosa sebesar 4,7% serta pH 6,0 serta kandungan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 50.000 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 80.000 mg/L yang tidak memenuhi batas aman yang diperbolehkan (Anita *et al.*, 2022). Meskipun kadar proteinnya relatif rendah dibandingkan komponen lain, protein *whey* terutama β -laktoglobulin dan α -laktalbumin memiliki nilai biologis dan fungsional tinggi, termasuk kapasitas membentuk jaringan gel/*film* melalui proses denaturasi panas yang diikuti pembentukan ikatan disulfida dan interaksi hidrofobik

antarmolekul. Kondisi ini membuat *whey* keju bagai pisau bermata dua karena akan mencemari lingkungan jika dibuang tanpa penanganan dan dapat dimanfaatkan menjadi produk fungsional. *Whey* tidak selayaknya hanya dianggap sebagai limbah cair, melainkan harus diposisikan sebagai bahan baku sekunder bernilai ekonomi tinggi jika diolah dengan tepat.

Pemanfaatan *whey* sebagai bahan baku *edible film* sekaligus menjadi strategi valorisasi limbah yang sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular (Bachmida and Afni, 2025). Hal ini karena mengubah produk samping bernilai rendah dan berpotensi mencemari lingkungan menjadi produk bernilai tambah berupa material kemasan pangan *biodegradable*. Strategi ini juga berpotensi mengurangi beban pengolahan limbah cair konvensional yang membutuhkan biaya tinggi, sekaligus membuka peluang diversifikasi produk bagi industri pengolahan susu dan keju.

Pemanfaatan *Edible Film* Sebagai Kemasan Fungsional

Edible film berbasis *whey* mampu berperan sebagai kemasan aktif yang melibatkan interaksi langsung dengan produk melalui pelepasan senyawa bioaktif secara terkontrol dari matriks *film*. Kemasan *edible film* sebagai kemasan aktif ini berbeda dengan kemasan konvensional yang hanya berfungsi sebagai penghalang pasif terhadap uap air, oksigen, dan mikroorganisme. Kemasan aktif *edible film* dapat dicapai melalui penambahan senyawa bioaktif ke dalam matriks *film*, seperti senyawa antimikroba dan antioksidan, yang secara bertahap dilepaskan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme perusak atau menunda reaksi oksidasi pada produk pangan, sehingga turut memperpanjang umur simpan dan mempertahankan mutu produk.

Kemampuan *edible film* berbasis *whey* dalam mempertahankan stabilitas pangan didukung oleh struktur tiga dimensi proteinnya yang mampu mendispersikan senyawa bioaktif secara merata. Jaringan polimer ini berfungsi sebagai agen pemerangkap yang melepaskan senyawa aktif secara perlahan berdasarkan kondisi lingkungan eksternal (suhu, pH, dan kelembapan). Mekanisme perlindungan bertahap ini terbukti lebih efektif dalam memperpanjang masa simpan dan menjaga keamanan produk pangan dibandingkan dengan metode penambahan senyawa aktif secara konvensional. Selain memberikan perlindungan terhadap kerusakan mikrobiologis dan oksidatif, fortifikasi senyawa bioaktif dapat memengaruhi karakteristik fisik dan mekanik *edible film*, seperti kuat tarik, elongasi, permeabilitas uap air, warna, transparansi, serta kelarutan. Oleh karena itu, optimasi

formulasi menjadi aspek penting agar peningkatan aktivitas biologis tetap diimbangi dengan sifat mekanik yang memadai untuk diaplikasikan sebagai bahan pengemas.

Karakteristik Bioaktif *Edible Film* Berbasis *Whey* Keju

Total Fenol

Senyawa fenolik berperan penting dalam meningkatkan sifat fungsional *edible film* melalui interaksinya dengan protein dan polisakarida penyusun matriks *film*. Interaksi tersebut menghasilkan struktur yang lebih kompak sehingga dapat memperbaiki kemampuan penghalang terhadap oksigen dan menghambat proses oksidasi pada produk pangan (Fahrullah *et al.*, 2025). Selain itu, kandungan total fenol sering dikaitkan dengan aktivitas antioksidan karena senyawa fenolik mampu menangkal radikal bebas. Senyawa ini juga memiliki sifat antimikroba yang berpotensi menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan pangan. Oleh sebab itu, pemanfaatan bahan alami yang kaya senyawa fenolik menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan kualitas *edible film*. Salah satu sumber senyawa fenolik yang berpotensi digunakan adalah teh hitam (*Camellia sinensis*).

Tabel 1. Kumpulan Hasil Riset Terkait total fenol pada *Edible film* Berbasis *Whey* Keju dalam Produk Pangan Fungsional

No	Sumber <i>Whey</i>	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
1.	<i>Whey Protein Concentrate</i> (WPC)	<i>Edible film</i> keju	Fortifikasi ekstrak teh hijau portugis 2,5%	Ekstrak teh hijau yang digunakan memiliki <i>total phenolic content</i> (TPC) tinggi, sehingga meningkatkan kapasitas antioksidan <i>film</i> dan menjadi sumber senyawa fenolik utama	(Kontogianni <i>et al.</i> , 2022)
2.	<i>Whey</i>	<i>edible film whey + ekstrak bunga telang</i>	konsentrasi ekstrak bunga telang 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%	Penambahan ekstrak bunga telang dapat meningkatkan senyawa fenolik pada <i>edible film whey</i> , sehingga <i>film</i> lebih berpotensi sebagai kemasan aktif	

No	Sumber <i>Whey</i>	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
3.	Susu sapi segar	Limbah <i>whey</i> dangke	Koagulasi susu menggunakan getah pepaya 0,5 ml dengan variasi tingkat penambahan ekstrak jeruk nipis: P0 (0 ml), P1 (0,5 ml), P2 (1 ml), P3 (1,5 ml), P4 (2ml)	Air jeruk nipis meningkatkan keasaman <i>whey</i> (pH turun ke 5,51- 5,85) dan menaikkan total asam. Karakteristik asam dan kekentalan <i>whey</i> penting untuk mengontrol kekuatan dan kestabilan sifat mekanik <i>edible film</i>	(Bandrio and Windyasmara, 2025)
4.	Protein <i>whey</i>	<i>Edible film</i> berbasis <i>whey</i> gelatin aktif	Pembuatan <i>edible film</i> berbahan kombinasi <i>whey</i> dan gelatin dengan inkorporasi bubuk teh hijau (<i>camellia sinensis</i>) dengan konsentrasi P1 (5%), P2 (10%) dan P3 (15%)	Penambahan bubuk teh hijau secara nyata memengaruhi karakteristik fisikokimia <i>film</i> , meningkatkan waktu gelasi, serta memodifikasi struktur mikro polimer <i>whey</i> -gelatin menjadi lebih rapat. Keberadaan komponen teh hijau ini mengintroduksi senyawa polifenol esensial ke dalam matriks kemasan	(Fadhilah et al., 2021)
5.	<i>Whey</i> bubuk	<i>Edible film</i>	formulasi <i>edible film</i> berbahan dasar <i>whey</i> murni dengan bahan aktif ekstrak kunyit pada konsentrasi 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, dan 1%	Penambahan ekstrak kunyit ke dalam <i>edible film</i> berbasis <i>whey</i> meningkatkan kandungan senyawa fenolik yang terdispersi di dalam matriks <i>film</i> . Semakin tinggi konsentrasi ekstrak kunyit yang digunakan, semakin tinggi pula kandungan gugus hidroksil yang berperan sebagai	(Juliyarsi et al., 2020)

No	Sumber <i>Whey</i>	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
				donor hidrogen dalam menangkal radikal bebas. Kondisi tersebut menyebabkan aktivitas antioksidan <i>edible film</i> meningkat dan berpotensi membantu menghambat proses oksidasi pada produk pangan	

Antioksidan

Aplikasi *edible film* berbasis *whey* keju sebagai pengemas pangan fungsional memerlukan komponen aktif tambahan guna melindungi produk dari kerusakan akibat oksidasi. Jika hanya mengandalkan matriks protein *whey* murni baik dalam bentuk isolat maupun kapasitasnya dalam mereduksi atau menangkal radikal bebas cenderung terbatas. Oleh karena itu, strategi inkorporasi senyawa antioksidan eksogen menjadi tahapan krusial untuk mentransformasikan matriks *film* menjadi sistem pengemas aktif (*active packaging*).

Peningkatan kapasitas antioksidan yang signifikan pada kemasan biopolimer ini dapat dicapai melalui integrasi ekstrak tanaman fungsional, salah satunya adalah teh hijau (*Camellia sinensis* L.) menurut (Kontogianni *et al.*, 2022), pengayaan matriks *whey protein isolate* (WPI) dengan ekstrak teh hijau hingga konsentrasi 1,0% mampu menghasilkan aktivitas antioksidan yang tinggi. Karakteristik fungsional ini terbukti efektif dalam menjaga mutu serta memperpanjang masa simpan produk keju segar selama penyimpanan. Mekanisme pertahanan kimiawi tersebut juga dikonfirmasi oleh (Castro *et al.*, 2019) melalui penggunaan *whey protein concentrate* (WPC) yang dikombinasikan dengan ekstrak teh hijau pada level konsentrasi 1,0% hingga 2,0%. Senyawa aktif di dalam *film* berbasis protein *whey* tersebut berfungsi efektif sebagai penangkap radikal bebas (*radical scavenger*) yang andal dalam menekan pembentukan senyawa hasil oksidasi sekunder. Hasilnya, *film* ini mampu menghambat timbulnya bau tengik, khususnya saat diaplikasikan pada bahan pangan dengan densitas lipid tinggi seperti produk perikanan. disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Riset Terkait Aktivitas Antioksidan *Edible film* Berbasis *Whey*

No.	Sumber	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
1.	<i>Whey</i>	<i>Edible film whey+ ekstrak kunyit</i>	Konsentrasi ekstrak kunyit 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%	Aktivitas antioksidan meningkat, dengan perlakuan konsentrasi tinggi sehingga dapat memberikan nilai yang lebih besar	(Juliyarsi <i>et al.</i> , 2020)
2.	<i>Whey Protein Concentrate</i>	<i>Edible film pengemasan salmon</i>	<i>Film whey protein concentrate</i> difortifikasi ekstrak teh hijau dan digunakan sebagai kemasan salmon selama penyimpanan dingin	Ekstrak teh hijau memberikan aktivitas antioksidan yang tinggi sehingga <i>film</i> mampu menekan oksidasi lipid sampai hari ke - 14 penyimpanan berdasarkan pengujian <i>peroxide value</i> , <i>p-anisidine value</i> , TBARS dan <i>hexanal</i>	(Castro <i>et al.</i> , 2019)
3.	<i>Whey Protein Isolate</i>	<i>Edible film pektin</i>	Penambahan minyak atsiri <i>thyme</i> ke dalam matriks <i>pektin</i>	Senyawa fenolik dari minyak atsiri meningkatkan kandungan total fenol dan berkontribusi terhadap peningkatan sifat bioaktif <i>edible film</i> .	(Kontogianni <i>et al.</i> , 2022)
4.	Whey protein concntrate	Edible film	Penambahan minyak atsiri oregano 1%, 2%, 3% 4% ke dalam edible film berbasis WPC	Penambahan minyak atsiri oregano meningkatkan aktivitas antioksidan pada edible film. Konsentrasi 3% memberikan	(Sajimon <i>et al.</i> , 2023)

No.	Sumber	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
5.	Whey Protein Isolate	Edible film	Edible film dibuat menggunakan whey protein isolate (8%, b/v) yang diperkaya ekstrak fireweed (<i>Epilobium angustifolium</i> L.) pada konsentrasi 0%, 1%, 3%, dan 5% (b/v), kemudian dikeringkan hingga membentuk film	aktivitas antioksidan tertinggi (86,89%) serta membantu mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan anggur selama penyimpanan Penambahan ekstrak <i>fireweed</i> meningkatkan kandungan total fenol dan aktivitas antioksidan. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak, semakin tinggi aktivitas antioksidan edible film	(Kowalczyk <i>et al.</i> , 2022)

Karakteristik Sifat Mekanik *Edible Film* Berbasis *Whey* Keju

Kuat Tarik

Kuat tarik (*Tensile strength*) merupakan salah satu parameter mekanik yang paling penting dalam karakterisasi *edible film*. Parameter ini menggambarkan kemampuan *film* untuk menahan gaya tarik maksimum sebelum mengalami kerusakan atau putus. Nilai kuat tarik umumnya dinyatakan dalam satuan Pascal (Pa) atau megapascal (MPa), yang dihitung berdasarkan perbandingan antara gaya maksimum yang diberikan dan luas penampang awal *film*. Besarnya nilai kuat tarik mencerminkan tingkat kekuatan dan integritas struktural *film* terhadap tekanan mekanis yang diterima selama penggunaan. *Film* dengan nilai kuat tarik yang tinggi cenderung memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan fisik selama proses pengemasan, penyimpanan, maupun distribusi produk

pangan. Karakteristik tersebut menjadikan kuat tarik sebagai salah satu parameter utama dalam evaluasi kualitas *edible film* (Shelvi *et al.*, 2025).

Nilai kuat tarik dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan komposisi dan struktur matriks *film*. Jenis protein, konsentrasi protein, tingkat denaturasi, serta interaksi antarmolekul yang terbentuk selama proses pembuatan *film* merupakan faktor yang berperan penting dalam menentukan kekuatan mekaniknya. Protein *whey* yang mengalami denaturasi akibat pemanasan akan membentuk agregat protein melalui interaksi disulfida, ikatan hidrogen, dan interaksi hidrofobik. Pembentukan jaringan protein yang terorganisasi dengan baik menghasilkan struktur *film* yang lebih kuat dan kohesif. Kondisi denaturasi yang optimal memungkinkan terbentuknya matriks tiga dimensi yang mampu meningkatkan ketahanan *film* terhadap gaya tarik. Upaya peningkatan kuat tarik juga dapat dilakukan melalui pembentukan ikatan silang (*crosslinking*) antarrantai protein. Agen pengikat silang seperti transglutaminase, genipin, maupun formaldehida diketahui mampu meningkatkan kekuatan mekanik *film* melalui pembentukan ikatan kovalen tambahan. Aspek keamanan pangan menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan bahan pengikat silang, terutama pada aplikasi *edible film* yang ditujukan untuk konsumsi langsung (Ramadhani *et al.*, 2025).

Kemampuan pembentukan ikatan silang tidak hanya diperoleh dari bahan kimia tertentu, tetapi juga dapat berasal dari senyawa bioaktif alami seperti polifenol. Senyawa polifenol yang terdapat dalam teh hitam *orthodox* memiliki potensi untuk berinteraksi dengan protein *whey* dan membentuk kompleks protein polifenol. Interaksi tersebut terjadi melalui pembentukan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil polifenol dan gugus karbonil protein, interaksi hidrofobik antara cincin aromatik polifenol dan residu asam amino hidrofobik, serta pembentukan ikatan kovalen pada kondisi oksidatif tertentu. Keberadaan kompleks protein-polifenol dapat meningkatkan kekompakan dan stabilitas jaringan matriks *film* sehingga berkontribusi terhadap peningkatan nilai kuat tarik. Efektivitas penguatan struktur *film* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi polifenol yang digunakan. Konsentrasi yang terlalu tinggi berpotensi mengganggu keteraturan jaringan protein sehingga menghasilkan efek yang berlawanan. Kandungan *tanin*, *teaflavin*, dan *tearubigin* yang tinggi pada teh hitam *orthodox* menjadikan bahan ini berpotensi sebagai agen penguat alami dalam formulasi *edible film* berbasis protein *whey* (Fahrullah *et al.*, 2025).

Beragam studi ilmiah membuktikan bahwa kuat tarik *edible film* berbasis memiliki nilai yang berbeda-beda, tergantung pada beberapa faktor. Kumpulan hasil riset disajikan pada tabel 1.

Tabel 3. Kumpulan Hasil Riset Terkait Perbedaan Kuat Tarik *Edible Film*

No.	Sumber	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
1.	Kolang-kaling	<i>Edible film</i>	Penggunaan jenis <i>plasticizer</i> yang digunakan meliputi gliserol, sorbitol, dan polietilen glikol yang terdiri dari 3 level yaitu 3%, 5% dan 7%	Berdasarkan hasil pengujian perlakuan terbaik terhadap kuat tarik diperoleh perlakuan terbaik dengan penggunaan <i>plasticizer</i> sorbitol dengan konsentrasi sebesar 3% dengan nilai parameter yang dihasilkan yaitu kuat tarik 2,83 N/cm ² .	(Sitompul and Zubaidah, 2017)
2.	Selulosa asetat	<i>Edible film</i>	Penambahan campuran 6 bakteriofag (BFSE16, BFSE18, PaDTA1, PaDTA9, PaDTA10, PaDTA11) sebanyak 1%, 3%, dan 5%	Kuat tarik mengalami penurunan dibanding kontrol. Nilai <i>tensile strength</i> berturut-turut sebesar 5,76 ± 0,36 MPa (1%), 5,78 ± 0,54 MPa (3%), dan 4,15 ± 0,67 MPa (5%). Semakin tinggi konsentrasi bakteriofag (5%), semakin besar penurunan <i>tensile strength</i> .	(Rusli <i>et al.</i> , 2017)
3.	Whey Protein	<i>Edible film</i>	Whey protein sebanyak 5 g, gelatin 3 g dan ditambahkan air sebanyak 100 mL, yang ditambah bubuk jahe/kayu manis (ukuran 80 mesh)	Penambahan 1% memiliki nilai kuat tarik tertinggi yakni sebesar 0,93 Mpa, Peningkatan konsentrasi bubuk kayu manis 2%, nilai kuat tarik mengalami penurunan menjadi	(Nasution <i>et al.</i> , 2026)

No.	Sumber	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
			dengan konsentrasi 0, 1, 2, dan 3% dari berat bahan whey protein yang digunakan	0,78 Mpa, penambahan bubuk kayu manis sebesar 3%, di mana nilai kuat tariknya hanya mencapai 0,50 Mpa, tidak mengandung bubuk kayu manis memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,67 Mpa.	
4.	Whey protein	Edible film komposit berbasis whey-pektin.	Penambahan tiga jenis <i>plasticizer</i> dengan konsentrasi yang sama (15% b/b), yaitu sorbitol, gliserol, dan PEG	Jenis <i>plasticizer</i> berpengaruh nyata ($P<0,05$) terhadap kuat tarik <i>edible film</i> . Sorbitol menghasilkan kuat tarik tertinggi ($6,71 \pm 0,05$ MPa), diikuti gliserol ($6,45 \pm 0,11$ MPa) dan PEG ($6,05 \pm 0,06$ MPa).	(Fahrullah <i>et al.</i> , 2023)
5.	Pati singkong + whey keju	Plastik <i>biodegradable</i>	Penambahan variasi volume whey keju 20 ml, 25 ml, 30 ml, serta variasi gliserol 5 ml, 10 ml, 15 ml	Memanfaatkan limbah cair whey hasil samping industri susu, lalu dicampur dengan sari buah lemon 2% dan jeruk.	(Masahid <i>et al.</i> , 2023)

Elongasi

Elongasi atau *elongation at break* merupakan salah satu parameter mekanik yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan *edible film* dalam mengalami peregangannya sebelum terjadi kerusakan atau putus. Nilai elongasi dinyatakan dalam persen (%) dan dihitung berdasarkan perbandingan antara pertambahan panjang film saat putus dengan panjang awal film. Besarnya nilai elongasi mencerminkan tingkat fleksibilitas dan elastisitas suatu film. Film dengan nilai elongasi yang tinggi memiliki kemampuan beradaptasi terhadap perubahan bentuk dan tekanan mekanis tanpa mengalami retak atau sobek. Karakteristik tersebut sangat penting pada aplikasi kemasan pangan karena film harus mampu mempertahankan integritasnya selama proses penanganan dan distribusi

produk. Film dengan elongasi rendah cenderung bersifat getas (*brittle*) sehingga lebih mudah mengalami kerusakan ketika menerima gaya tarik atau tekanan dari lingkungan sekitarnya. Hubungan antara elongasi dan kuat tarik menjadi aspek penting dalam pengembangan *edible film* karena kedua parameter tersebut menentukan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas material (Rahmayetty *et al.*, 2025).

Karakteristik elongasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan komposisi dan struktur matriks film. Keberadaan *plasticizer* merupakan salah satu faktor yang paling menentukan karena senyawa ini berfungsi meningkatkan mobilitas rantai polimer. Molekul *plasticizer* akan berada di antara rantai polimer dan mengurangi kekuatan interaksi antarmolekul sehingga struktur film menjadi lebih lentur. Gliserol merupakan jenis *plasticizer* yang paling banyak digunakan pada *edible film* berbasis protein karena bersifat hidrofilik, aman untuk pangan, dan efektif meningkatkan fleksibilitas film. Peningkatan konsentrasi gliserol umumnya menghasilkan nilai elongasi yang lebih tinggi akibat meningkatnya kemampuan rantai polimer untuk bergerak bebas. Kondisi tersebut sering kali diikuti oleh penurunan nilai kuat tarik karena struktur matriks menjadi kurang kaku. Penggunaan sorbitol maupun polietilen glikol juga banyak diterapkan sebagai alternatif *plasticizer* dengan karakteristik yang berbeda terhadap sifat mekanik film. Pemilihan jenis dan konsentrasi *plasticizer* menjadi tahapan penting untuk memperoleh kombinasi sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Rusmawati dan Annazhifah, 2026).

Nilai elongasi juga dapat berubah akibat penambahan bahan aktif ke dalam matriks film. Senyawa polifenol yang terdapat dalam ekstrak teh hitam memiliki kemampuan berinteraksi dengan protein *whey* melalui pembentukan ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, maupun ikatan kovalen pada kondisi tertentu. Interaksi tersebut menghasilkan kompleks protein-polifenol yang dapat meningkatkan kerapatan jaringan matriks film. Struktur yang lebih rapat umumnya meningkatkan kekakuan material sehingga berpotensi menurunkan nilai elongasi. Respons yang dihasilkan tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh konsentrasi polifenol yang digunakan. Konsentrasi polifenol yang relatif rendah dapat meningkatkan fleksibilitas film apabila molekul polifenol berperan sebagai agen yang memperbesar ruang antar rantai polimer. Perubahan sifat mekanik yang dihasilkan menunjukkan bahwa konsentrasi bahan aktif memiliki peranan penting dalam menentukan keseimbangan antara kekuatan dan elastisitas film (Shelvi *et al.*, 2025).

Fleksibilitas *edible film* juga dipengaruhi oleh kondisi proses dan lingkungan selama pembentukan maupun pengujian film. Metode pembuatan, suhu pengeringan, ketebalan film, kelembapan relatif, dan suhu pengujian merupakan faktor-faktor yang dapat memengaruhi nilai elongasi. Proses pengeringan pada suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan pembentukan ikatan silang antar protein sehingga film menjadi lebih kaku dan kurang elastis. Kelembapan lingkungan yang tinggi cenderung meningkatkan nilai elongasi karena molekul air berperan sebagai *plasticizer* alami yang meningkatkan mobilitas rantai polimer. Peningkatan suhu pengujian juga dapat memperbesar elongasi akibat bertambahnya energi kinetik molekul penyusun matriks film. Evaluasi sifat elongasi umumnya dilakukan menggunakan metode yang mengacu pada standar ASTM D882, yang banyak digunakan dalam pengujian sifat tarik material film tipis berbasis polimer maupun biopolimer (Nurhabibah dan Kusumaningrum, 2021).

Beragam studi ilmiah membuktikan bahwa kuat tarik *edible film* berbasis memiliki nilai yang berbeda-beda, tergantung pada beberapa faktor. Kumpulan hasil riset disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Kumpulan Hasil Riset Terkait Perbedaan Elongasi *Edible Film*

No.	Sumber	Produk	Perlakuan	Hasil	Referensi
1.	Pati sagu	<i>Edible film</i>	Penggunaan pati sagu dengan konsentrasi gliserol 0,5%, 1,0%, dan 1,5% (b/b).	Secara keseluruhan, nilai kuat tarik <i>edible film</i> yang dihasilkan berkisar antara 3,05 sampai dengan 31,49 MPa.	(Polnaya et al., 2016)

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan berbagai hasil penelitian yang telah dikaji, whey keju memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku *edible film* yang ramah lingkungan sekaligus berfungsi sebagai kemasan pangan fungsional. Penambahan berbagai senyawa bioaktif alami, seperti ekstrak teh hijau, teh hitam, kunyit, bunga telang, maupun minyak atsiri thyme, terbukti mampu meningkatkan kandungan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan sehingga *edible film* lebih efektif dalam menghambat proses oksidasi pada produk pangan. Di sisi lain, karakteristik mekanik, seperti kuat tarik dan elongasi, sangat dipengaruhi oleh jenis bahan penyusun, komposisi formulasi, penggunaan *plasticizer*, serta interaksi antarmolekul yang terbentuk selama proses pembuatan film. Oleh karena itu, diperlukan formulasi yang tepat agar diperoleh keseimbangan antara sifat bioaktif dan sifat

mekanik sehingga edible film tidak hanya memiliki aktivitas fungsional yang baik, tetapi juga mampu memberikan perlindungan fisik yang optimal selama penyimpanan produk pangan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan kombinasi bahan bioaktif yang lebih beragam serta menguji penerapan edible film berbasis whey pada berbagai jenis produk pangan untuk memperoleh formulasi yang lebih efektif dan siap diaplikasikan pada skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita, Faradila, R. M., Hendratama, M. R., & Rahman, N. A. (2022). Dekomposer alami berbahan limbah sayur dengan penambahan whey keju sebagai sumber protein. *Jurnal Atmosphere*, 3(1), 32–40. <https://doi.org/10.36040/atmosphere.v3i1.4800>
- Asmarasari, S. A., Sumantri, C., Gunawan, A., Taufik, E., & Anggraeni, A. (2019). Candidate gene of milk protein for genetic improvement of dairy cattle. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 29(2), 97–105. <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v29i2.1890>
- Bachmida, E. A., & Afni, N. (2025). Inovasi pengelolaan limbah pangan dan implikasinya terhadap ketahanan pangan: Systematic literature review. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(11), 7079–7093. <https://doi.org/10.56338/jks.v8i11.8963>
- Bandrio, D., & Windyasmara, L. (2025). Characteristics of whey from dangke cow milk waste with coagulant lime extract. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(4), 4949–4956. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i4.9182>
- Castro, F. V. R., Andrade, M. A., Silva, A. S., Vaz, M. F., & Vilarinho, F. (2019). The contribution of a whey protein film incorporated with green tea extract to minimize the lipid oxidation of salmon (*Salmo salar* L.). *Foods*, 8(8), Article 327. <https://doi.org/10.3390/foods8080327>
- Fadhilah, Z. H., Perdana, F., & Syamsudin, R. A. M. R. (2021). Review: Telaah kandungan senyawa katekin dan epigallocatekin galat (EGCG) sebagai antioksidan pada berbagai jenis teh. *Jurnal Pharmascience*, 8(1), 31–43. <https://doi.org/10.20527/jps.v8i1.9122>
- Fahrullah, F., Basriani, B., Anita, C., Febryanti, F., & Fitriyani, F. (2025). Whey-gelatin edible film: Gelation time, solubility and microstructure with incorporated green tea powder. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 13(1), 32–41.
- Fahrullah, F., Bulkaini, B., Kisworo, D., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., & Haryanto, H. (2023). The water content, solubility, and optical properties of whey-gelatin multilayer films enriched with green tea powder. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(4), 491–499. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i4.5664>
- Juliyarsi, I., Tanifal, M., Melia, S., Arief, Djamaan, A., & Purwati, E. (2020). Characterization of edible film whey with addition of curcuma extract (*Curcuma domestica* Val.) on moisture, water vapor absorption, solubility time, and antioxidant activity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1), Article 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012050>
- Kontogianni, V. G., Kasapidou, E., Mitlianga, P., Mataragas, M., Pappa, E., Kondyli, E.,

- & Bosnea, L. (2022). Production, characteristics and application of whey protein films activated with rosemary and sage extract in preserving soft cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, 155, Article 112996. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112996>
- Kowalczyk, D., Szymanowska, U., Skrzypek, T., Basiura-Cembala, M., Bartkowiak, A., & Lupina, K. (2022). A comprehensive study on gelatin- and whey protein isolate-based edible films as carriers of fireweed (*Epilobium angustifolium* L.) extract. *Food and Bioprocess Technology*, 15(11), 2547–2561. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02898-x>
- Masahid, A. D., Aprilia, N. A., Witono, Y., & Azkiyah, L. (2023). Karakteristik fisik dan mekanik plastik biodegradable dengan penambahan whey keju dan plastisiser gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 23–34.
- Maulidia, J., & Azizah, F. (2025). Studi polimer biodegradable untuk pengemasan ramah lingkungan. *Journal of Science and Mathematics Education*, 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.70716/josme.v1i1.162>
- M. M, Tahir (2017). Karakterisasi edible film karagenan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 219–229.
- Nasution, S., Fadilla, F. F., Sari, A. N., & Permana, L. (2026). Karakteristik fisik dan antikapang edible film whey protein dengan bubuk rempah sebagai pembungkus kopi. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 13(1), 60–70. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2026.13.1.60>
- Nurhabibah, S. A., & Kusumaningrum, W. B. (2021). Karakterisasi bioplastik dari κ -karagenan *Eucheuma cottonii* terplastisasi berpenguat nanoselulosa. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 43(2), 82–90. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i2.6808>
- Polnaya, F. J., Ega, L., & Wattimena, D. (2016). Karakteristik edible film pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan penambahan gliserol. *Agritech*, 36(3), 247–254. <https://doi.org/10.22146/agritech.16661>
- Rahmayetty, Ramadani, P. D., Astari, R., & Nuryoto. (2025). Biodegradasi dalam tanah pada edible film selulosa asetat. *Jurnal Integrasi Proses*, 14(1), 166–171.
- Ramadhani, S. T., Aulia, Z., Nurpratiwi, P. A., Syamsuddin, A. B., Setianingrum, A. A., & Maulani, S. F. (2025). Analisis pengaruh ketebalan, kuat tarik dan pemanjangan pada edible film pati tapioka. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 7(1), 27–36. <https://doi.org/10.30997/jiph.v7i1.16885>
- Rusmawati, D. A., & Annazhifah, N. (2026). Review: Karakteristik mekanik dan fisik edible film pati umbi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 11(2), 476–490.
- Sajimon, A., Edakkadan, A. S., Subhash, A. J., & Ramya, M. (2023). Incorporating oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil onto whey protein concentrate based edible film towards sustainable active packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 60(9), 2408–2422. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05763-7>
- Shelvi, N., Selfi, Nurlin, & Rizqi, H. (2025). Tensile strength dan elongation at break edible film pati singkong dengan variasi bahan tambahan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 3(4), 2847–2851. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.871>

Sitompul, A. J. W. S., & Zubaidah, E. (2017). Sifat fisik edible film kolang kaling (*Arenga pinnata*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 5(3), 13–25.