

Whey-Gelatin Edible Film: Gelation Time, Solubility and Microstructure with Incorporated Green Tea Powder

Edible Film Whey-Gelatin: Lama Gelasi, Solubilitas dan Mikrostruktur dengan Penggabungan Bubuk Teh Hijau

Fahrullah Fahrullah^{1,*}, Basriani Basriani¹, Cis Anita¹, Farah Febryanti¹, Fitriyani Fitriyani¹

¹Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83115, Indonesia

Penulis Korespondensi : fahrullah@unram.ac.id

Abstract

Edible film is a promising eco-friendly alternative to synthetic plastic packaging. This study evaluates the effect of green tea powder on the characteristics of whey-gelatin-based edible films using a completely randomized design with three treatments: P1 (5%), P2 (10%), and P3 (15%), each replicated three times. Results indicate that green tea powder significantly affects gelation time and solubility ($P < 0.01$). Gelation time ranged from 9 minutes 56 seconds to 17 minutes 32 seconds, and solubility ranged from 43.31% to 45.87%. The incorporation of green tea powder altered the microstructure of the films, enhancing surface features and strengthening the polymer matrix. The optimal concentration of green tea powder was 5%, producing the shortest gelation time (9 minutes 56 seconds) and a solubility of 45.87%. These findings highlight the potential of whey-gelatin-based edible films as biodegradable and sustainable packaging for food products, promoting environmental conservation.

Keywords: Film, Gelatin, Green Tea, Whey

Abstrak

Edible film adalah alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan untuk menggantikan bahan kemasan plastik sintesis. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh bubuk teh hijau terhadap karakteristik edible film berbasis whey-gelatin. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan tiga perlakuan: P1 (5%), P2 (10%), dan P3 (15%), masing-masing dengan tiga ulangan. Hasil menunjukkan penggabungan bubuk teh hijau secara signifikan memengaruhi waktu gelasi dan kelarutan film ($P < 0,01$). Waktu gelasi berkisar antara 9 menit 56 detik hingga 17 menit 32 detik, sementara nilai kelarutan berkisar antara 43,31% hingga 45,87%. Penambahan teh hijau juga memengaruhi mikrostruktur film, memperbaiki fitur permukaan dan memperkuat matriks polimer. Konsentrasi optimal bubuk teh hijau adalah 5%, menghasilkan waktu gelasi lebih singkat (9 menit 56 detik) dengan kelarutan 45,87%. Temuan ini mendukung potensi edible film berbasis whey-gelatin sebagai bahan kemasan ramah lingkungan yang biodegradable.

Kata kunci Film, Gelatin, Teh Hijau, Whey

<https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2025.013.01.4>

Received 29 Agustus 2024

Revised 24 Januari 2025

Accepted 31 Januari 2025

Published 31 Januari 2025

Please cite this article as: Fahrullah, Basriani, Anita, C., Febryanti, F., Fitriyani (2025). Whey-gelatin edible film: gelation time, solubility and microstructure with incorporated green tea powder. J. Pangan dan Agroindustri, 13(1), 32.-41. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jpa.2025.013.01.4>

© 2025 Fahrullah, Basriani, Anita, Febryanti, Fitriyani. Published by Department of Food Science and Biotechnology, Universitas Brawijaya, Indonesia. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

PENDAHULUAN

Bahan kemasan makanan yang banyak digunakan saat ini adalah plastik sintetis, yang berfungsi secara efektif dalam melindungi produk yang dikandungnya dari kerusakan (Herrera-vázquez *et al.*, 2022). Namun, penggunaan plastik ini memiliki masalah ekologi yang spesifik, termasuk pelepasan emisi selama proses pembuatannya dan periode degradasi yang panjang, sekitar 100-700 tahun, yang mengarah pada produksi limbah (Garrido *et al.*, 2019). Dekade terakhir, biopolimer yang menggunakan bahan organik telah menunjukkan kemajuan penting dalam produksi film yang dapat terurai secara hayati. Ada minat yang berkembang dalam pembuatan kemasan yang dapat terurai secara hayati karena masalah lingkungan dan masalah keamanan pangan yang mendorong tren ini (Fahrullah *et al.*, 2021; Fahrullah, Eka Radiati, *et al.*, 2020; Fahrullah *et al.*, 2022; Fahrullah, Kisworo, and Noersidiq, 2023; Fahrullah *et al.*, 2024; Maniglia *et al.*, 2015; Spotti *et al.*, 2016; Sukhija *et al.*, 2016). Edible film memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan pelapis makanan untuk memastikan kesegaran, keamanan, dan penyimpanan berbagai produk makanan (Shah *et al.*, 2023). Edible film dapat menjadi alternatif yang efektif untuk kemasan plastik sintetis dan biodegradable (Jeevahan *et al.*, 2020). Jenis polimer alami ini termasuk polisakarida, protein dan lipid yang dapat dipergunakan untuk elaborasi dalam berbagai aplikasi seperti pengemasan (Fahrullah, 2021; Fahrullah, Radiati, *et al.*, 2020; Maruddin *et al.*, 2018) serta kemasan yang langsung dapat dimakan (Benbettaïeb *et al.*, 2014; Moeini *et al.*, 2022).

Pemanfaatan protein dalam pembuatan edible film menghasilkan karakteristik yang lebih unggul jika dibandingkan dengan penggunaan lipid dan karbohidrat (Shah *et al.*, 2023), keunggulan tersebut antara lain kemampuannya untuk mengakomodasi bahan tambahan seperti antioksidan dan agen anti mikroba (Abdelhedi *et al.*, 2018; Adilah *et al.*, 2018). Protein memiliki struktur yang dapat dengan mudah dimodifikasi menggunakan perlakuan seperti denaturasi termal, hidrolisis kimia, dan perlakuan enzimatik untuk mendapatkan karakteristik film yang diinginkan. Protein gelatin juga menunjukkan sifat fungsional sebagai pengental dan penstabil serta dapat membuat film yang dapat terurai secara hayati (Herrera-vázquez *et al.*, 2022). Aplikasi protein gelatin telah banyak digunakan dalam berbagai produk makanan untuk memperpanjang umur simpan. Menggunakan berbagai protein untuk membentengi film yang dapat dimakan menunjukkan potensi untuk meningkatkan fitur dan fungsinya (Ayunita dan Fahrullah, 2024; Fahrullah, Bulkaini, Kisworo, *et al.*, 2023; Fitrah dan Fahrullah, 2024). Protein whey adalah produk sampingan yang melimpah dari proses produksi keju yang terdiri dari berbagai fraksi protein termasuk β -laktoglobulin, α -laktoalbumin, BSA, dan imunoglobulin (Janjarasskul dan Suppakul, 2018). Film protein menunjukkan sifat mekanik yang menguntungkan sehubungan dengan penghalang gas, namun dibandingkan dengan biopolimer lainnya, film ini menunjukkan permeabilitas yang lebih besar terhadap uap air.

Strategi yang efektif untuk mengatasi keterbatasan ini dengan meningkatkan sifat fungsional film yang dibuat dengan pencampuran whey, gelatin dan polimer lain dari sumber yang dapat diperbaharui seperti teh hijau. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan edible film adalah tingginya permeabilitas uap air yang dapat mempengaruhi stabilitas dan kualitas produk. Penggabungan teh hijau dalam produksi edible film dapat membantu masalah ini dikarenakan kandungan polifenolnya yang tinggi terutama katekin yang dapat berinteraksi dengan matriks polimer untuk meningkatkan sifat penghalang terhadap uap air. Katekin dan polifenol dalam teh hijau juga dapat meningkatkan kerapatan struktur film melalui ikatan hidrogen, yang pada gilirannya mengurangi transfer uap air. (Gianfredi *et al.*, 2018; Tan *et al.*, 2023), selain itu teh hijau dapat terurai secara hayati di alam (Kowser *et al.*, 2023), menjadikannya bahan tambahan yang baik untuk pembuatan film. Teh hijau merupakan pilihan yang terjangkau dan tidak beracun dengan biokompatibilitas tinggi yang memberikan manfaat antioksidan, antimikroba, dan antikarsinogenik dalam sediaan makanan (Munir *et al.*, 2020).

Interaksi antara multikomponen dalam sebuah film belum dipelajari dan belum banyak catatan mengenai film komposit yang terdiri dari protein whey, gelatin dan teh hijau sehingga perlu mempelajari hubungan antara komponen ini dikarenakan komposisi film akan mempengaruhi struktur dan sifat dari film. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui

bagaimana berbagai konsentrasi teh hijau berdampak pada lama gelasi, solubilitas, dan struktur permukaan film protein whey-gelatin yang dapat dimakan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bubuk whey, bubuk gelatin, PEG 400, akuades, bubuk teh hijau, aluminium foil, kertas label dan silica gel.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah hot plate stirrer, cawan petri, magnetic stirrer, erlenmeyer, gelas ukur, tabung ukur, desikator, thermometer, oven dan cawan aluminium.

Desain Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan dan 3 kali ulangan, sehingga diperoleh 9 unit percobaan. Perlakuan pada penelitian ini adalah konsentrasi bubuk teh hijau yakni 5%; 10% dan 15%.

Tahapan Penelitian

Tahapan Pembuatan Larutan Edible Film

Pembuatan larutan edible film whey-gelatin dimulai dengan menimbang bubuk whey sebanyak 1g dan gelatin 1g, kedua bahan ini dicampurkan menjadi satu, selanjutnya ditambahkan akuades hingga volume larutan mencapai volume 15 ml. Bubuk teh hijau dicampurkan dalam larutan tersebut dengan konsentrasi 5, 10 dan 15%. Larutan film ini dipanaskan menggunakan hot plate stirrer dengan suhu $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan 250 rpm selama 30 menit. Pada menit ke-25 plasticizer PEG ditambagkan dengan konsentrasi 30% (b/v). Larutan film selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri dan dipanaskan menggunakan suhu 50°C selama 2 hari dan setelah itu disimpan pada suhu kamar selama 24 jam. Edible film yang telah selesai dikemas menggunakan aluminium foil sebelum dilakukan pengujian (Fahrullah, Radiati, *et al.*, 2020; Maruddin *et al.*, 2018).

Metode

Lama Gelasi

Lama gelasi diukur dengan mengamati seberapa lama gel (menit) yang terbentuk setelah edible film dicetak dalam cawan petri (Fahrullah, Kisworo, and Noersidiq, 2023).

Solubilitas Film

Solubilitas edible film diukur dengan menghitung persentase bagian film yang larut dalam air setelah direndam selama 24 jam. Edible film dipotong menjadi ukuran 3x3 cm dan ditempatkan dalam cawan aluminium yang telah ditimbang sebelumnya. Sampel edible film kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 30 menit. Setelah itu, berat sampel kering ditimbang sebagai berat kering awal dan sampel direndam selama 24 jam. Sampel yang tidak larut dalam air dipisahkan dan dikeringkan kembali dalam oven selama 2 jam pada suhu 100°C , lalu disimpan dalam desikator selama 10 menit. Berat sampel setelah perendaman ditimbang kembali. Persentase kelarutan dihitung menggunakan persamaan (Gontard *et al.*, 1994):

$$S = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

W0: berat kering awal

W1: berat setelah perendaman

Mikrostruktur Film

Pengamatan struktur mikro edible film dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron scanning model SEM JEOL JCM-7000. Edible film dipotong dengan ukuran 0,5x0,5 cm; kemudian sampel dicoating dan potongan film tersebut diletakkan di atas piringan. Sampel yang telah siap kemudian ditempatkan pada perangkat SEM untuk pengamatan mikrostruktur.

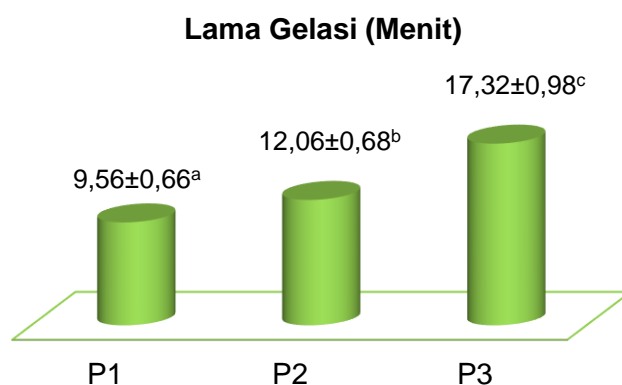
Prosedur Analisis Data

Data dianalisis secara statistik dengan ANOVA menggunakan SPSS 24. Uji lanjut untuk perbedaan yang signifikan dilakukan dengan Duncan Multiple Range Test (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Lama Gelasi

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, lama gelasi edible film whey-gelatin dengan penggabungan teh hijau dapat dilihat pada **Gambar 1**.



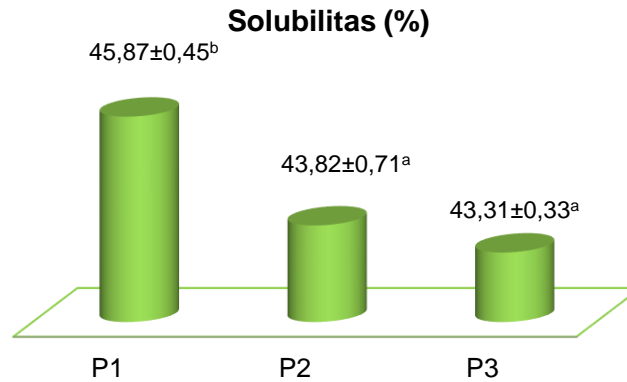
Gambar 1. Lama gelasi edible film whey-gelatin

P1: bubuk teh hijau 5%; P2: bubuk teh hijau 10%; P3: bubuk teh hijau 10%
Superskrip ^{abc} pada gambar menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$)

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penggabungan teh hijau memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap lama gelasi edible film whey-gelatin. Lama gelasi yang dihasilkan dengan penggabungan bubuk teh hijau menghasilkan waktu 9,59 hingga 17,32 menit. Hal ini dikarenakan kandungan polifenol dalam teh hijau, terutama katekin dan tanin, yang memiliki sifat antioksidan dan dapat berinteraksi dengan protein dalam whey dan gelatin. Interaksi ini menghambat pembentukan jaringan protein yang diperlukan untuk gelasi, sehingga memperpanjang waktu gelasi (Chen *et al.*, 2024). Selain itu, senyawa aktif dalam teh hijau seperti katekin dan tanin berikatan dengan protein melalui ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik, menciptakan kompleks molekul yang menghambat proses gelasi (Miskiyah *et al.*, 2022). Teh hijau juga memiliki pH asam yang dapat mempengaruhi keadaan ionik protein, dimana pH rendah dapat memperlambat proses denaturasi protein, yang pada gilirannya memperpanjang waktu pembentukan gel (Ming *et al.*, 2020). Selain itu, senyawa hidrofilik dalam teh hijau bersaing dengan protein untuk mengikat molekul air, mengurangi ketersediaan air untuk interaksi antar molekul protein, yang penting dalam pembentukan struktur gel (Nunes *et al.*, 2020). Pengaruh fisik lainnya adalah partikel bubuk teh hijau yang dimasukkan ke dalam larutan, bertindak sebagai penghalang fisik yang mengurangi mobilitas protein dan memperlambat pembentukan jaringan gel (Hamann *et al.*, 2022).

2. Solubilitas Film

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, solubility edible film whey-gelatin dengan penggabungan teh hijau dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Solubilitas edible film whey-gelatin
 P1: bubuk teh hijau 5%; P2: bubuk teh hijau 10%; P3: bubuk teh hijau 10%
 Superskrip ^{ab} pada gambar menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$).

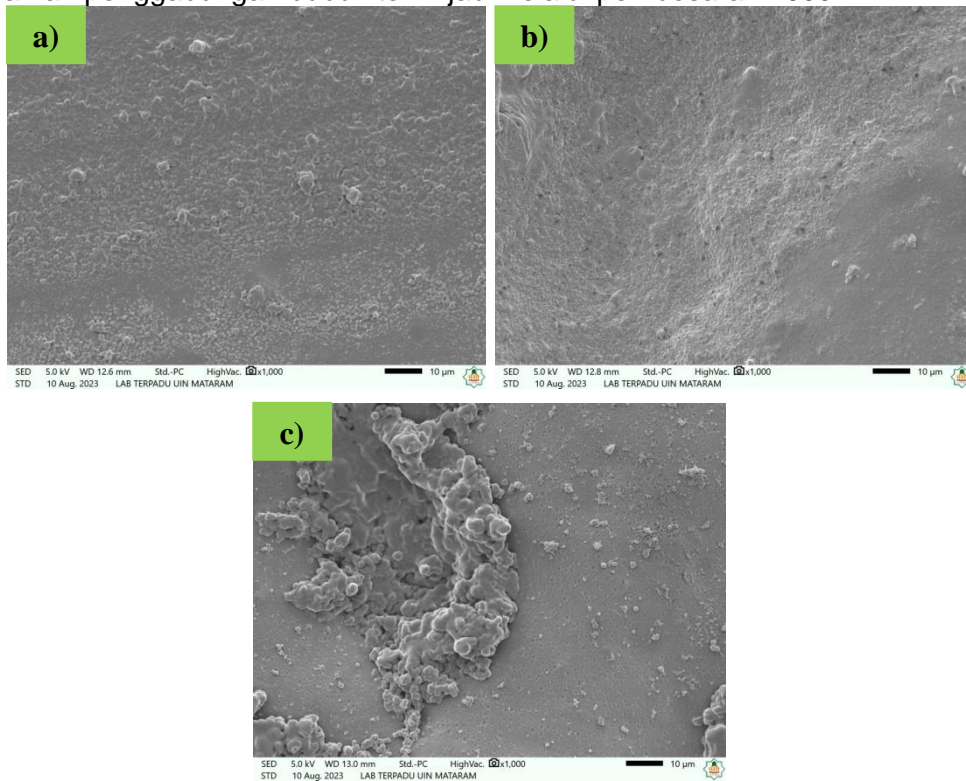
Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penggabungan bubuk teh hijau memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap nilai solubility edible film whey-gelatin. Semakin tinggi penggabungan konsentrasi teh hijau maka semakin rendah nilai solubility yang dihasilkan. Penggabungan konsentrasi teh hijau yang lebih tinggi menyebabkan penurunan kelarutan edible film, dari 45,87% menjadi 43,31%. Hasil tersebut disebabkan oleh struktur jaringan film yang diperkuat akibat interaksi protein-polifenol ketika menggunakan konsentrasi teh hijau yang lebih tinggi (Wu *et al.*, 2013). Prgommet *et al.* (2017) menemukan bahwa mengintegrasikan teh hijau ke dalam matriks polimer dapat menyebabkan interaksi antara protein whey-gelatin dan kandungan fenolik. Interaksi ini mengurangi gugus hidroksil yang tersedia, yang pada akhirnya meningkatkan kekakuan matriks dan mengurangi kelarutan dalam air. Selain itu, pemlastis polietilen glikol berdampak pada kelarutan edible film yang dihasilkan. Dimasukkannya polietilen glikol akan memperkuat matriks film, PEG berfungsi sebagai plasticizer dalam film edible whey-gelatin dengan mengurangi kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas. PEG mengganggu ikatan antar-molekul dalam matriks polimer, memungkinkan rantai polimer bergerak lebih bebas dan meningkatkan elastisitas film. Sebagai plasticizer hidrofilik, PEG kompatibel dengan whey dan gelatin, menjadikannya efektif untuk pembuatan edible film yang ramah lingkungan sehingga tidak terlalu rentan terhadap kerusakan air (Sitompul dan Zubaidah, 2017). Konsentrasi molekul yang meningkat dalam larutan berkontribusi pada substansi struktural dan daya tahan film, sehingga meningkatkan kekuatannya secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, film yang mengalami berbagai kombinasi konsentrasi teh hijau dalam penelitian ini memiliki nilai kelarutan di bawah 50%, yang menunjukkan potensi kesesuaiannya untuk digunakan sebagai kemasan produk makanan berlemak (Valdés *et al.*, 2021). Selain itu, semua perlakuan menunjukkan kelarutan yang baik, yang sangat penting ketika menilai potensi biodegradabilitas film yang diteliti (Al-Hassan, 2022). Hasil ini sangat menjanjikan untuk penggunaan edible film, karena telah terbukti efektif dalam menilai ketahanan air (Caroline dan Pratiwi, 2018). Kelarutan edible film yang tinggi menunjukkan ketahanan yang lebih rendah terhadap air, yang menunjukkan hidrofilitas film (Unsa dan Paramastri, 2018). Edible film dengan kelarutan yang tinggi lebih disukai untuk konsumsi langsung dengan produk makanan dalam aplikasi pengemasan makanan dan menandakan bahan kemasan yang ramah lingkungan (biodegradable) (Romani *et al.*, 2019). Kelarutan dalam air merupakan aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam aplikasi film untuk kemasan makanan untuk memastikan pengawetan produk dan meminimalkan masalah lingkungan yang terkait dengan kemasan yang tidak dapat terurai secara hayati (de Jesus *et al.*, 2020).

3. Mikrostruktur Film

Pengujian mikrostruktur film dengan Scanning Electron Microscope bertujuan untuk menilai homogenitas, keberadaan pori-pori dan retakan yang biasanya ditemukan pada permukaan film. Hal ini juga memeriksa hubungan antara polimer yang digunakan sebagai bahan baku

dalam produksi film. Struktur mikro yang dihasilkan ditunjukkan pada (**Gambar 3**) yang menggambarkan penggabungan bubuk teh hijau melalui pembesaran 1000x.



Gambar 3. Mikrostruktur edible film whey-gelatin dengan penambahan bubuk teh hijau a) 5%; b) 10% dan c) 15%.

Gambar 3 (a) menunjukkan permukaan edible film tampak cukup halus dengan beberapa butiran atau partikel yang menonjol. Permukaan halus ini menunjukkan bahwa whey dan gelatin berhasil membentuk matriks film yang seragam. Partikel-partikel yang terlihat seperti titik-titik/tonjolan-tonjolan pada permukaan film kemungkinan besar merupakan partikel dari bubuk teh hijau. Pada konsentrasi 5% partikel bubuk teh hijau tidak dapat terdistribusi secara merata sehingga menciptakan struktur permukaan yang sedikit kasar atau bertekstur. **Gambar 3** (a) juga menunjukkan tidak adanya pori-pori besar, yang mengindikasikan film ini memiliki struktur yang relatif padat. Namun adanya partikel yang tersebar mungkin sedikit mempengaruhi homogenitas matriks tetapi tidak menunjukkan adanya keretakan pada film.

Gambar 3 (b) menunjukkan film memiliki lebih banyak tekstur dan ketidakteraturan dibandingkan dengan film dengan penggabungan 5% bubuk teh hijau. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi bubuk teh hijau menjadi 10%, distribusi partikel pada permukaan film menjadi lebih jelas dan lebih kasar. Pada konsentrasi 10%, tampaknya bubuk teh hijau lebih banyak tersebar di seluruh matriks film, membentuk area yang lebih kasar dan sedikit ada kerutan. Ini menunjukkan bahwa partikel teh hijau tidak terdispersi sepenuhnya atau mengalami aglomerasi yang mengakibatkan adanya gumpalan atau area yang bertekstur kasar. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Taktak *et al.*, 2020) yang menunjukkan struktur permukaan yang halus, kompak dan homogen yang menimbulkan porositas pada permukaan film.

Gambar 3 (c) memperlihatkan permukaan film terlihat sangat kasar dengan formasi struktur yang lebih kompleks dan berlapis. Ketidakteraturan ini menunjukkan adanya distribusi partikel bubuk teh hijau yang sangat padat dan tidak merata. Pada konsentrasi 15% tampaknya partikel bubuk teh hijau cenderung mengalami aglomerasi yang signifikan, membentuk gumpalan besar dan berlapis. Aglomerasi ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang tinggi, partikel bubuk teh hijau sulit terdispersi secara merata dalam matriks whey-gelatin, menyebabkan pembentukan struktur yang besar dan pada permukaan film. Struktur yang terlihat pada **Gambar 3** (c) menunjukkan adanya porositas dan kekasaran yang

tinggi sehingga dapat mempengaruhi sifat penghalang film terhadap uap air dan gas. Selain itu juga **Gambar 3** (c) menampilkan kelompok yang bergabung di area tertentu, menunjukkan ketidakseragaman selama pengadukan, bermanifestasi sebagai butiran yang terlihat karena penguapan air dari permukaan film, yang menyebabkan tidak larutnya partikel yang diendapkan pada permukaan film. Struktur film mengungkap susunan komponen-komponennya yang memiliki dampak potensial pada karakteristik mekanik film (Cofelice et al., 2019). Figueroa-Lopez et al. (2018) menyatakan bahwa sifat material secara substansial dipengaruhi oleh morfologi film, termasuk keseragaman dan struktur permukaannya, yang pertama kali dianalisis dengan pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM).

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan teh hijau dalam matriks whey-gelatin secara signifikan memengaruhi sifat fisik dan mikrostruktur edible film. Lama gelasi yang lebih panjang terjadi karena interaksi katekin dan tanin dalam teh hijau dengan protein, sementara peningkatan konsentrasi teh hijau menghasilkan solubilitas lebih rendah dan memperkuat struktur film. Namun, distribusi partikel teh hijau yang tidak merata pada konsentrasi tinggi mengakibatkan kekasaran permukaan yang memengaruhi sifat penghalang film. Dengan sifat mekanik yang stabil, ketahanan air yang baik, dan potensi biodegradabilitas, edible film ini menjanjikan untuk digunakan sebagai bahan kemasan ramah lingkungan, terutama untuk produk makanan berlemak. Optimalisasi konsentrasi teh hijau menjadi kunci untuk mencapai performa terbaik film ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram atas dukungan dana untuk proyek penelitian ini melalui Penelitian Peningkatan Kapasitas dengan nomor hibah 2446/UN18.L1/PP/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhedi, O., Nasri, R., Mora, L., Jridi, M., Toldrá, F., and Nasri, M. (2018). In silico analysis and molecular docking study of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from smooth-hound viscera protein hydrolysates fractionated by ultrafiltration. *Food Chemistry*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.112>
- Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., and Hanani, Z. A. N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>
- Al-Hassan, A. A. (2022). Development and characterization of gelatin films derived from camel skin: effects of camel age and plasticizers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(6). <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01577-x>
- Ayunita, N., and Fahrullah, F. (2024). Protein-based films with different glycerol concentrations: thickness, gelation time and microstructure. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2). <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6890>
- Benbettaïeb, N., Kurek, M., Bornaz, S., and Debeaufort, F. (2014). Barrier, structural and mechanical properties of bovine gelatin-chitosan blend films related to biopolymer interactions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(12). <https://doi.org/10.1002/jsfa.6570>
- Caroline, C., and Pratiwi, A. R. (2018). Biopreservatif Alami dalam Pembuatan Edible Film Karagenan *Eucheuma cottonii* dengan Polietilen Glikol Sebagai Plasticizer. *Jurnal Agroteknologi*, 11(02). <https://doi.org/10.19184/j-agt.v11i02.6523>
- Chen, D., Stone, S., Ilavsky, J., and Campanella, O. (2024). Effect of polyphenols on the rheology, microstructure and in vitro digestion of pea protein gels at various pH. *Food Hydrocolloids*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109827>
- Cofelice, M., Cuomo, F., and Chiralt, A. (2019). Alginate films encapsulating lemongrass essential oil as affected by spray calcium application. *Colloids and Interfaces*, 3(3).

- <https://doi.org/10.3390/colloids3030058>
- de Jesus, G. L., Baldasso, C., Marcílio, N. R., and Tessaro, I. C. (2020). Demineralized whey–gelatin composite films: Effects of composition on film formation, mechanical, and physical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(42). <https://doi.org/10.1002/app.49282>
- Fahrullah, Ervandi, M., and Rosyidi, D. (2021). Characterization and antimicrobial activity of whey edible film composite enriched with clove essential oil. *Tropical Animal Science Journal*, 44(3). <https://doi.org/10.5398/tasj.2021.44.3.369>
- Fahrullah, F. (2021). Penggunaan minyak cengkeh dalam aplikasi edible film whey terhadap karakteristik kimiawi dan mikrobiologis keju gouda. *Agrointek*, 15(2). <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i2.10060>
- Fahrullah, F., Bulkaini, B., Kisworo, D., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., and 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.
- Fahrullah, F., Eka Radiati, L., Purwadi, and Rosyidi, D. (2020). The physical characteristics of whey based edible film added with konjac. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1). <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.31>
- Fahrullah, F., Kisworo, D., Bulkaini, B., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., Ulkiyah, K., Kartika, K., and Rahmawati, L. (2024). Optimization of the Thickness, water vapour transmission rate and morphology of protein-based films incorporating glycerol and polyethylene glycol plasticizers. 34(1), 11–20. <https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2024>
- Fahrullah, F., Kisworo, D., and Noersidiq, A. (2023). Edible film based on whey-chia seed: physical characterization with addition of different plasticizers. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 8554–8562. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.4978>
- Fahrullah, F., Noersidiq, A., and Maruddin, F. (2022). Effects of glycerol plasticizer on physical characteristic of whey-konjac films enriched with clove essential oil. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 9, 226–233. <https://doi.org/10.18502/jfqc.9.4.11377>
- Fahrullah, F., Radiati, L. E., Purwadi, P., and Rosyidi, D. (2020). The effect of different plasticizers on the characteristics of whey composite edible film. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 15(1). <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.01.4>
- Figuerola-Lopez, K. J., Castro-Mayorga, J. L., Andrade-Mahecha, M. M., Cabedo, L., and Lagaron, J. M. (2018). Antibacterial and barrier properties of gelatin coated by electrospun polycaprolactone ultrathin fibers containing black pepper oleoresin of interest in active food biopackaging applications. *Nanomaterials*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/nano8040199>
- Fitrah, Q., and Fahrullah, F. (2024). Analysis of thickness, WVTR, and microstructure of Whey-Gelatin protein based film with variation in chia seed (Salvia hispanica L.) concentration. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(4). <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i4.7806>
- Garrido, T., Peñalba, M., de la Caba, K., and Guerrero, P. (2019). A more efficient process to develop protein films derived from agro-industrial by-products. *Food Hydrocolloids*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.023>
- Gianfredi, V., Nucci, D., Abalsamo, A., Acito, M., Villarini, M., Moretti, M., and Realdon, S. (2018). Green tea consumption and risk of breast cancer and recurrence—A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Nutrients*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/nu10121886>
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. L., and Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 29(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>
- Hamann, D., Puton, B. M. S., Comin, T., Colet, R., Valduga, R., Zeni, J., Steffens, J., Junges, A., Backes, G. C., and Cansian, R. L. (2022). Active edible films based on green tea extract and gelatin for coating of fresh sausage. *Meat Science*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108966>
- Herrera-vázquez, S. E., Dublán-garcía, O., Arizmendi-cotero, D., Gómez-oliván, L. M., Islas-flores, H., Hernández-navarro, M. D., and Ramírez-durán, N. (2022). Optimization of the physical, optical and mechanical properties of composite edible films of gelatin, whey protein and chitosan. *Molecules*, 27(3). <https://doi.org/10.3390/molecules27030869>
- Janjarasskul, T., and Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5). <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>
- Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S. P., Sriram, V., Britto Joseph, G., Mageshwaran, G., and Durairaj, R. B. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.014>
- Kowser, M. A., Hossain, S. M. K., Amin, M. R., Chowdhury, M. A., Hossain, N., Madkhali, O., Rahman,

- M. R., Chani, M. T. S., Asiri, A. M., Uddin, J., and Rahman, M. M. (2023). Development and characterization of bioplastic synthesized from ginger and green tea for packaging applications. *Journal of Composites Science*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/jcs7030107>
- Maniglia, B. C., De Paula, R. L., Domingos, J. R., and Tapia-Blácido, D. R. (2015). Turmeric dye extraction residue for use in bioactive film production: Optimization of turmeric film plasticized with glycerol. *LWT*, 64(2). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.025>
- Maruddin, F., Ratmawati, R., Fahrullah, F., and Taufik, M. (2018). Karakteristik edible film berbahan whey dangke dengan penambahan karagenan. *Jurnal Veteriner*, 19(2). <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2018.19.2.291>
- Ming, Y., Chen, L., Khan, A., Wang, H., and Wang, C. (2020). Effects of tea polyphenols on physicochemical and antioxidative properties of whey protein coating. *Food Science and Biotechnology*, 29(12). <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00824-5>
- Miskiyah, M., Sasmitaloka, K. S., and Budiyanto, A. (2022). Pengaruh lama waktu perendaman terhadap arakteristik gelatin ceker ayam. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(2). <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i2.11846>
- Moeini, A., Pedram, P., Fattahi, E., Cerruti, P., and Santagata, G. (2022). Edible polymers and secondary bioactive compounds for food packaging applications: Antimicrobial, mechanical, and gas barrier properties. *Polymers*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/polym14122395>
- Munir, M., Qayyum, A., Raza, S., Siddiqui, N. R., Mumtaz, A., Safdar, N., Shible, S., Afzal, S., and Bashir, S. (2017). Nutritional Assessment of basil seed and its utilization in development of value added beverage. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 30(3). <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2017.30.3.266.271>
- Munir, S., Javed, M., Hu, Y., Liu, Y., and Xiong, S. (2020). The effect of acidic and alkaline pH on the physico-mechanical properties of surimi-based edible films incorporated with green tea extract. *Polymers*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/polym12102281>
- Nunes, C. J., Melo, P. T. S., Aouada, F., Aouada, M. R. M., Lorevice, M. V. (2020). Effect of green tea extract on gelatin-based films incorporated with lemon essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04469-4>
- Prgomet, I., Goncalves, B., Domínguez-Perles, R., Pascual-Seva, N., and Barros, A. I. R. N. A. (2017). Valorization challenges to almond residues: Phytochemical composition and functional application. *Molecules*, 22(10). <https://doi.org/10.3390/molecules22101774>
- Romani, V. P., Olsen, B., Pinto Collares, M., Meireles Oliveira, J. R., Prentice-Hernández, C., and Guimarães Martins, V. (2019). Improvement of fish protein films properties for food packaging through glow discharge plasma application. *Food Hydrocolloids*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.022>
- Shah, Y. A., Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Afzaal, M., Saeed, F., Anwer, M. K., Khan, M. R., Jawad, M., Akram, N., and Faisal, Z. (2023). Mechanical Properties of protein-based food packaging materials. *Polymers*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/polym15071724>
- Sitompul, A. J. W. S., and Zubaidah, E. (2017). Pengaruh jenis dan konsentrasi plasticizer terhadap sifat fisik edible film kolang kaling (*Arenga pinnata*). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 5(1).
- Spotti, M. L., Cecchini, J. P., Spotti, M. J., and Carrara, C. R. (2016). Brea Gum (from *Cercidium praecox*) as a structural support for emulsion-based edible films. *LWT*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.018>
- Sukhija, S., Singh, S., and Riar, C. S. (2016). Analyzing the effect of whey protein concentrate and psyllium husk on various characteristics of biodegradable film from lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome starch. *Food Hydrocolloids*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.023>
- Taktak, W., Kchaou, H., Hamdi, M., Li, S., Nasri, M., Karra-Chaâbouni, M., and Nasri, R. (2020). Design of bioinspired emulsified composite European eel gelatin and protein isolate-based food packaging film: Thermal, microstructural, mechanical, and biological features. *Coatings*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/coatings10010026>
- Tan, H. L., Ojukwu, M., Lee, L. X., and Mat Easa, A. (2023). Quality characteristics of green Tea's infusion as influenced by brands and types of brewing water. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12638>
- Unsa, L. K., and Paramastri, G. A. (2018). Kajian jenis plasticizer campuran gliserol dan sorbitol terhadap sintesis dan karakterisasi edible film pati bonggol pisang sebagai pengemas buah apel. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1).
- Valdés, A., Martínez, C., Garrigos, M. C., and Jimenez, A. (2021). Multilayer films based on poly(Lactic acid)/gelatin supplemented with cellulose nanocrystals and antioxidant extract from almond shell by-product and its application on hass avocado preservation. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213615>

Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., and Zhang, Q. (2013). Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 32(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.029>