

## **Karakteristik Fisik Film Whey dengan Penambahan Minyak Atsiri Kulit Lemon**

*(Physical Characteristics of Whey-Based Film with the Addition of Lemon Peel Essential Oil)*

**Fahrullah Fahrullah<sup>1\*</sup>, Fatimah<sup>1</sup>, Djoko Kisworo<sup>1</sup>, Wahid Yulianto<sup>1</sup>, Bulkaini<sup>1</sup>, Sukirno<sup>1</sup>, Baiq Rani Dewi Wulandani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>) Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram

\*Email Penulis Korespondensi: [fahrullah@unram.ac.id](mailto:fahrullah@unram.ac.id)

Diterima: 14 April 2026,

Disetujui: 26 Juni 2026

### **ABSTRAK**

Upaya peningkatan mutu pangan, khususnya yang menekankan aspek keberlanjutan dan kesehatan, kini menjadi salah satu fokus utama dalam industri pengolahan makanan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi minyak atsiri kulit lemon terhadap karakteristik fisik film whey. Rancangan penelitian yang dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan lima kali ulangan. Perlakuan terdiri dari konsentrasi minyak atsiri kulit lemon, dengan konsentrasi 0% (L1), 2% (L2), dan 4% (L3). Data dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan apabila terdapat perbedaan maka dilakukan pengujian lanjut menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan minyak atsiri tidak berpengaruh nyata ( $P > 0,05$ ) terhadap ketebalan dan elongasi film, namun memberikan pengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap kekuatan tarik. Nilai ketebalan berkisar antara 0,14–0,16 mm, elongasi 62,10–62,77%, dan kekuatan tarik 5,20–5,51 MPa. Peningkatan konsentrasi minyak atsiri cenderung menurunkan kekuatan tarik film akibat terganggunya interaksi antar molekul protein serta terbentuknya fase diskontinu dalam matriks film. Sementara itu, efek plastisasi dari minyak atsiri memberikan kontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas film pada konsentrasi tertentu, meskipun belum memenuhi standar elongasi minimum. Penambahan minyak atsiri lemon berpengaruh terhadap sifat mekanik edible film whey, khususnya dalam menurunkan kekuatan tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi 2% minyak atsiri kulit lemon menghasilkan karakteristik fisik film yang paling baik sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai kemasan pangan biodegradable.

**Keywords:** Film, Kemasan, Lemon, Minyak atsiri, Whey

### **ABSTRACT**

Improving food quality through sustainable and health-oriented packaging has become a major focus in the food processing industry. This study aimed to evaluate the effect of different concentrations of lemon (*Citrus limon*) peel essential oil on the physical characteristics of whey protein-based edible films. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design with three treatments and five replications. The treatments consisted of lemon peel essential oil concentrations of 0% (L1), 2% (L2), and 4% (L3). The observed parameters included film thickness, elongation at break, and tensile strength. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) when significant differences were detected ( $P < 0.05$ ). The results

indicated that the addition of lemon peel essential oil had no significant effect ( $P > 0.05$ ) on film thickness or elongation but significantly affected ( $P < 0.05$ ) tensile strength. Film thickness ranged from 0.14 to 0.16 mm, elongation from 62.10% to 62.77%, and tensile strength from 5.20 to 5.51 MPa. Increasing essential oil concentration tended to reduce tensile strength due to weakened intermolecular protein interactions and the formation of discontinuous phases within the film matrix. Meanwhile, the plasticizing effect of the essential oil contributed to improved film flexibility at certain concentrations, although the elongation values remained below the recommended minimum standard. Among the tested treatments, the incorporation of 2% lemon peel essential oil produced the most favorable physical characteristics, suggesting its potential application in the development of biodegradable food packaging.

**Keywords:** Film, Packaging, Lemon peel, Essential oil, Whey

## PENDAHULUAN

Industri pangan modern menghadapi tantangan besar dalam menyediakan kemasan yang tidak hanya mampu melindungi produk, tetapi juga ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan. Penggunaan plastik berbasis petroleum yang sulit terdegradasi telah mendorong pengembangan material alternatif berbasis biopolimer, seperti edible film. Edible film merupakan lapisan tipis yang dapat dimakan dan berfungsi sebagai pelindung produk pangan dari kerusakan fisik, kimia, maupun mikrobiologis, serta mampu memperpanjang umur simpan produk pangan (Çakmak *et al.*, 2020).

Salah satu bahan potensial dalam pembuatan edible film adalah whey, yaitu hasil samping industri keju yang kaya akan protein berkualitas tinggi seperti  $\beta$ -laktoglobulin dan  $\alpha$ -laktalbumin. Protein whey memiliki kemampuan membentuk film dengan sifat mekanik yang baik serta kemampuan sebagai penghalang gas yang efektif pada kondisi kelembaban rendah (Pires *et al.*, 2024). Selain itu, pemanfaatan whey sebagai bahan baku edible film juga memberikan nilai tambah terhadap limbah industri susu yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal (Hendrasty *et al.*, 2022). Pada proses pembuatan keju, sekitar 80–90% volume susu akan terpisah menjadi whey,

sehingga setiap 1 kg keju dapat menghasilkan sekitar 9–10 liter whey (Sar *et al.*, 2022). Namun demikian, film berbasis whey memiliki kelemahan utama berupa sifat hidrofilik yang tinggi sehingga kurang efektif sebagai penghalang uap air serta memiliki keterbatasan pada sifat mekanik tertentu (Çakmak *et al.*, 2020).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penambahan senyawa hidrofobik seperti minyak atsiri menjadi salah satu strategi yang banyak dikembangkan. Minyak atsiri dikenal memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan fungsi aktif edible film (Socaciu *et al.*, 2020). Minyak atsiri lemon (*Citrus limon*) mengandung senyawa bioaktif seperti limonene dan citral yang berperan dalam aktivitas biologis tersebut. Selain itu, penambahan minyak atsiri ke dalam matriks protein dapat memodifikasi struktur film melalui interaksi hidrofobik, sehingga berpotensi meningkatkan sifat barrier terhadap uap air dan gas (Çakmak *et al.*, 2020).

Di sisi lain, penambahan minyak atsiri juga dapat memberikan dampak yang kompleks terhadap sifat fisik film. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan minyak atsiri dapat menyebabkan perubahan warna, transparansi, serta distribusi fase dalam

matriks film, yang pada akhirnya mempengaruhi sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan elongasi (Galus *et al.*, 2021). Ketidakseimbangan konsentrasi minyak atsiri dapat menyebabkan terbentuknya struktur yang tidak homogen, porositas, serta melemahnya ikatan antar molekul protein, sehingga menurunkan kualitas fisik film. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut terkait pengaruh penambahan minyak atsiri lemon terhadap karakteristik fisik edible film berbasis whey.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik edible film whey dengan penambahan minyak atsiri lemon, khususnya pada parameter ketebalan, kekuatan tarik, dan elongasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan edible film berbasis protein yang fungsional, ramah lingkungan, dan memiliki performa fisik yang optimal.

## METODE PENELITIAN

### Materi Penelitian

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah whey protein, kulit lemon, akuades, gliserol dan silica gel. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini Adalah hot plate stirrer, magnetic stirrer, Universal Testing Machine, thermometer, Erlenmeyer, gelas ukur, magnetic stirrer, cawan petri, dan mikrometer sekrup.

### Metode Penelitian

#### Ekstraksi Minyak Atsiri Kulit Lemon

Ekstraksi minyak atsiri kulit lemon dilakukan menggunakan metode maserasi dengan pelarut etanol yang dilanjutkan dengan pemisahan pelarut menggunakan rotary evaporator tipe Heidolph Hei-VAP Value Digital G3. Sebanyak 100 g kulit lemon segar yang telah diparut dicampurkan dengan 500 mL etanol 96% (rasio bahan : pelarut = 1:5 b/v) dalam

wadah tertutup. Campuran kemudian dimaserasi selama 24 jam pada suhu ruang dengan pengadukan berkala untuk meningkatkan kontak antara bahan dan pelarut.

Setelah proses maserasi selesai, filtrat dipisahkan menggunakan kertas saring. Filtrat hasil penyaringan kemudian dievaporasi menggunakan rotary evaporator pada suhu water bath 50°C dan tekanan vakum hingga sebagian besar pelarut etanol terpisah. Proses evaporasi dilakukan selama kurang lebih 30–45 menit hingga diperoleh ekstrak pekat yang mengandung minyak atsiri kulit lemon. Hasil ekstraksi menghasilkan minyak atsiri 1,8 g dengan rendemen sebesar 1,8%. Minyak atsiri selanjutnya disimpan dalam botol kaca berwarna gelap hingga digunakan untuk analisis.

#### Pembuatan Larutan Film

Film whey dibuat dengan menggunakan metode pencetakan (casting). Whey dicampurkan dengan akuades dan diaduk secara merata menggunakan magnetic stirrer lalu dilakukan proses pemanasan menggunakan hot plate stirrer, untuk memperbaiki sifat mekanik film, ditambahkan gliserol sebesar 15% (b/b) sebagai plasticizer, lalu campuran dipanaskan kembali pada suhu 45°C selama 15 menit. Larutan homogen yang dihasilkan selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri dan diratakan melalui proses pencetakan. Setelah proses pengeringan, film disimpan dalam desikator pada suhu ruang selama 2 hari sebelum dilakukan analisis lebih lanjut (Modifikasi Fahrullah *et al.*, 2020).

#### Ketebalan Film

Ketebalan film berbasis whey diukur menggunakan mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,01 mm. Pengukuran dilakukan pada lima titik secara acak pada setiap film

#### Elongasi dan Kekuatan Tarik Film

Metode pengujian elongasi dan kekuatan tarik, dengan menggunakan

Universal Testing Machine (UTM) (ASTM, 2018).

### Analisa Statistik

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 5 kali ulangan. Perlakuan terdiri dari konsentrasi minyak atsiri kulit lemon (L1: 0%; L2: 2%; dan L3: 4%). Data dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan apabila terdapat perbedaan maka dilakukan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) menggunakan aplikasi SPSS 24.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Ketebalan Film

Ketebalan merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi edible film karena berhubungan dengan kemampuan film dalam melindungi produk dari pengaruh lingkungan seperti oksigen, uap air, dan mikroorganisme. Hasil penelitian pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon terhadap nilai ketebalan film dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Nilai ketebalan (mm) film whey dengan penambahan minyak atsiri kulit lemon.**

Perlakuan	Ketebalan (mm)
L1	0,14±0,01
L2	0,16±0,01
L3	0,15±0,02

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam terkait dengan pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon tidak memberikan pengaruh yang nyata ( $P>0,05$ ) terhadap nilai ketebalan film yang dihasilkan. Nilai ketebalan yang dihasilkan dalam penelitian ini berkisar antara 0,14-0,16 mm, namun terjadi peningkatan disertai dengan penurunan seiring bertambahnya minyak atsiri yang diberikan. Ketebalan edible film yang diperoleh pada penelitian ini masih berada dalam kisaran yang umum dilaporkan pada edible film berbasis protein. Penelitian oleh Fematt-flores *et al* (2022) yang

menggunakan protein susu menunjukkan nilai keebalan antara 0,17-0,19 mm yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian ini. Ketebalan edible film sebesar 0,14–0,16 mm yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa film masih memiliki struktur yang cukup tipis namun berpotensi memberikan perlindungan terhadap perpindahan uap air dan gas, terutama dengan adanya penambahan minyak atsiri kulit lemon yang bersifat hidrofobik. Kombinasi ketebalan film dan keberadaan minyak atsiri diharapkan dapat mendukung peningkatan fungsi barrier serta memperpanjang umur simpan produk yang dikemas (Cakmak *et al.*, 2020)

Peningkatan pada perlakuan dengan penambahan minyak atsiri kulit lemon 2% disebabkan oleh bertambahnya total padatan dalam larutan pembentuk film, dalam system film berbasis whey, ketebalan sangat dipengaruhi oleh komposisi larutan, khususnya konsentrasi bahan padat dan viskositas larutan (Fahrullah *et al.*, 2020). Semakin tinggi kandungan padatan maka film yang terbentuk cenderung lebih tebal dikarenakan jumlah material yang tersisa setelah proses pengeringan semakin besar (Gounga *et al.*, 2007). Penambahan senyawa hidrofobik menyebabkan peningkatan ketebalan akibat terbentuknya disperse globula minyak dalam matriks protein dapat memperbesar volume struktur film dan meningkatkan ketebalan (Galus & Kadzińska, 2016). Namun pada perlakuan penambahan minyak atsiri kulit lemon dengan konsentrasi 4% terjadi penurunan, hal ini disebabkan ketidakstabilan emulsi pada konsentrasi minyak atsiri yang lebih tinggi. Ketika jumlah minyak yang terlalu besar, distribusi globula minyak menjadi tidak homogen dan akan cenderung mengalami agregasi atau pemisahan fase. Kondisi ini yang menyebabkan struktur film menjadi kurang seragam dan dapat mengalami penyusutan selama proses pengeringan

(Socaciu *et al.*, 2020). Al-Awwaly *et al* (2010) menyatakan bahwa penambahan komponen aktif atau hidrofobik dalam film berbasis whey dapat mempengaruhi mikrostruktur permukaan yang pada konsentrasi tinggi cenderung menjadi lebih berpori dan tidak merata, struktur yang kurang kompak inilah yang memberikan kontribusi terhadap ketidakkonsistenan ketebalan film yang dihasilkan.

### Elongasi Film

Elongasi merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan edible film untuk mengalami pemanjangan sebelum mengalami kerusakan atau putus. Hasil penelitian pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon terhadap nilai elongasi film dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Nilai elongasi (%) film whey dengan penambahan minyak atsiri kulit lemon.**

Perlakuan	Elongasi (%)
L1	62,25±0,33
L2	62,77±0,67
L3	62,10±1,09

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam terkait dengan pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon tidak memberikan pengaruh yang nyata ( $P>0,05$ ) terhadap nilai elongasi film yang dihasilkan. Nilai elongasi yang dihasilkan dalam penelitian ini berkisar antara 62,10-62,77%, hasil ini belum memenuhi Japanese Industrial Standard (JIS, 1975) yakni minimum 70%. Hasil penelitian ini menghasilkan nilai elongasi yang hampir sama dengan penelitian Fahrullah *et al.* (2021) yang menggunakan minyak atsiri cengkeh yakni 53,21-78,00%.

Peningkatan elongasi yang terjadi dengan penambahan minyak atsiri kulit lemon sebanyak 2% disebabkan oleh efek plastisasi dari komponen minyak atsiri, senyawa aktif seperti limonen dan senyawa terpenoid lainnya memiliki ukuran molekul kecil yang memungkinkan masuk ke dalam matriks protein whey dan

mengurangi gaya Tarik antar rantai polimer. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang melaporkan bahwa penambahan minyak atsiri pada edible film whey dapat meningkatkan nilai elongasi akibat efek plastisasi yang ditimbulkan (Pedro *et al.*, 2023). Pada perlakuan dengan penambahan minyak atsiri dengan konsentrasi 4%, nilai elongasi mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang lebih tinggi minyak atsiri tidak lagi berfungsi optimal sebagai plasticizer melainkan mulai menyebabkan ketidakstabilan struktur film. Konsentrasi minyak yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya agregasi globula minyak dan distribusi yang tidak merata dalam matriks protein sehingga akan terbentuk fase diskontinu (Chakravartula *et al.*, 2019). Struktur yang tidak homogen ini menyebabkan distribusi tegangan saat peregangan menjadi tidak merata, sehingga film menghasilkan nilai elongasi yang menurun. Socaciu *et al* (2020) melaporkan pada penelitian edible film berbasis whey dengan penambahan minyak atsiri lainnya, Dimana peningkatan konsentrasi minyak atsiri menunjukkan perilaku yang tidak linear terhadap elongasi. Pada konsentrasi tertentu terjadi peningkatan elongasi, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi justru terjadi fluktuasi atau penurunan akibat ketidakhomogenan struktur dan gangguan jaringan film.

### Kekuatan Tarik Film

Kekuatan tarik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas mekanik edible film karena menunjukkan kemampuan film menahan gaya tarik hingga putus. Hasil penelitian pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon terhadap nilai kekuatan tarik film dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam terkait dengan pengaruh penambahan minyak atsiri kulit lemon memberikan pengaruh yang nyata ( $P<0,05$ ) terhadap nilai kekuatan tarik film. Nilai kekuatan tarik berkisar antara 5,20-5,51 Mpa.

Semakin tinggi penambahan minyak atsiri kulit lemon maka semakin rendah kekuatan tarik film yang dihasilkan. Hasil penelitian ini menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan penelitian Fahrullah *et al.* (2024) yang menggunakan chia seed pada film whey yakni 3,87-4,30 Mpa.

**Tabel 3. Nilai kekuatan tarik (MPa) film whey dengan penambahan minyak atsiri kulit lemon.**

Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
L1	5,51±0,07 <sup>a</sup>
L2	5,33±0,10 <sup>ab</sup>
L3	5,20±0,08 <sup>b</sup>

Ket: Superskrip ab pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata ( $P < 0,05$ )

Penurunan kekuatan tarik ini berkaitan erat dengan sifat hidrofobil minyak atsiri yang dapat mengganggu interaksi antar molekul protein whey dalam matriks film. Selain itu juga kekuatan tarik dipengaruhi oleh ikatan intermolekuler seperti ikatan hydrogen, interaksi elektrostatis dan ikatan disulfida (Galus & Kadzińska, 2016). Penambahan komponen lipid ataupun minyak ke dalam protein dapat menurunkan integritas struktural dikarenakan terbentuknya fase diskontinu dalam matriks. Selain itu juga penurunan kekuatan tarik dapat disebabkan oleh terbentuknya agregasi globula minyak pada konsentrasi yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan distribusi komponen dalam film menjadi tidak homogen (Cheng *et al.*, 2024).

Film dengan kekuatan tarik yang tinggi umumnya memiliki elongasi yang rendah begitupun sebaliknya. Penurunan kekuatan tarik pada penelitian ini berkaitan dengan peningkatan fleksibilitas film akibat efek plastisasi dari minyak atsiri yang dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer namun mengurangi kekompakan

struktur (Rizkiarna *et al.*, 2023). Hubungan ini merupakan karakteristik umum dalam material biopolymer, di mana peningkatan elastisitas sering kali diikuti oleh penurunan kekuatan mekanik (Chakravartula *et al.*, 2019).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan minyak atsiri kulit lemon tidak memberikan pengaruh yang nyata ( $P > 0,05$ ) terhadap nilai ketebalan dan elongasi film namun memberikan pengaruh yang nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap kekuatan tarik film. Ketebalan film berkisar 0,14–0,16 mm dengan kecenderungan meningkat pada konsentrasi 2% dan menurun pada 4%. Nilai elongasi (62,10–62,77%) meningkat pada 2% akibat efek plastisasi, tetapi menurun pada 4% karena ketidakstabilan struktur, serta belum memenuhi standar JIS. Sebaliknya, kekuatan tarik (5,20–5,51 MPa) menurun seiring peningkatan konsentrasi minyak atsiri akibat terganggunya interaksi antar molekul protein. Secara keseluruhan, penambahan 2% minyak atsiri memberikan karakteristik fisik terbaik dan menjadi konsentrasi yang paling optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat–Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan (DPPM–Ditjen Risbang), Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini melalui Program Penelitian Fundamental Reguler dengan nomor hibah: 079/C3/DT.05.00/PL/2025.

## REFERENSI

Al-Awwaly, K. U., Manab, A., & Wahyuni, E. (2010). Production of

- whey protein edible film: the study of protein and glycerol ratio on physical and chemical properties. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 5(1).
- Çakmak, H., Özselek, Y., Turan, o. Y., Firatligil, E., & Karbancioğlu-Güler, F. (2020). Whey protein isolate edible films incorporated with essential oils: Antimicrobial activity and barrier properties. *Polymer Degradation and Stability*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109285>
- Chakravartula, S. S. N., Soccio, M., Lotti, N., Balestra, F., Rosa, M. D., & Siracusa, V. (2019). Characterization of composite edible films based on pectin/alginate/whey protein concentrate. *Materials (Basel)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/ma12152454>
- Cheng, J., Velez, F. J., Singh, P., & Cui, L. (2024). Fabrication, characterization, and application of pea protein-based edible film enhanced by oregano essential oil (OEO) micro- or nano-emulsion. *Current Research in Food Science*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100705>
- Fahrullah, F., Radiati, L. E., Purwadi, & Rosyidi, D. (2020). The physical characteristics of whey based edible film added with konjac. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.31>
- Fahrullah, F., Ervandi, M., & 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., Noersidiq, A., Kisworo, D., & Maruddin, F. (2024). Evaluating physicochemical properties of whey-chia seed edible films for biodegradable packaging. *Tropical Animal Science Journal*, 47(4). <https://doi.org/10.5398/tasj.2024.47.4.519>
- Fematt-flores, G. E., Aguiló-aguayo, I., Marcos, B., Camargo-olivas, B. A., Sánchez-vega, R., Soto-caballero, M. C., Salas-salazar, N. A., Flores-córdova, M. A., & Rodríguez-roque, M. J. (2022). Milk Protein-Based Edible Films: Influence on Mechanical, Hydrodynamic, Optical and Antioxidant Properties. *Coatings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/coatings12020196>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil. *Food Technology & Biotechnology*, 54(1). <https://doi.org/10.17113/ftb.54.01.16.3889>
- Galus, S., Mikus, M., Ciurzyńska, A., Domian, E., Kowalska, J., Marzec, A., & Kowalska, H. (2021). The Effect of Whey Protein-Based Edible Coatings Incorporated with Lemon and Lemongrass Essential Oils on the Quality Attributes of Fresh-Cut Pears during Storage. *Coatings*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/coatings11070745>
- Goungam, M. E., Xu, S., & Wang, Z. (2007). Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. *Journal of Food Engineering*, 83(4). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.008>
- Hendrasty, H. K., Rahayu, W. T., & Marsudi, F. (2022). Efektivitas edible

- efektivitas edible film dari whey keju “mozzarella” terhadap sifat fisik dan kimia keju “halloumi” dan keju “mozzarella” yang disimpan pada suhu ruang. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 3(2).  
<https://doi.org/10.35791/jat.v3i2.44102>
- Pedro, S., Pereira, L., Domingues, F., Ramos, A., & Luis, A. (2023). Optimization of whey protein-based films incorporating *Foeniculum vulgare* mill. essential oil. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(3).  
<https://doi.org/10.3390/jfb14030121>
- Pires, A. F., Diaz, O., Cobos, A., & Pereira, C. D. (2024). A review of recent developments in edible films and coatings-focus on whey-based materials. *Foods*, 13(16).  
<https://doi.org/10.3390/foods13162638>
- Rizkiarna, R. C., Timur, F., Sujiwa, A., & Wardhani, P. C. 2023. Permodelan komputasional sifat mekanik thin film berbasis pektin kulit durian. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 14(2).
- Sar, T., Harirchi, S., Ramezani, M., Bulkan, G., Akbas, M. Y., Pandey, A., % Taherzadeh, M. J. 2022. Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Science of The Environment*, 810.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152253>
- Socaciu, M., Fogarasi, M., Semeniuc, C. A., Socaci, S. A., Rotar, M. A., Mureşan, V., Pop, O. L., & Vodnar, D. C. (2020). Formulation and characterization of antimicrobial edible films based on whey protein isolate and tarragon essential oil. *Polymers*, 12 (8).  
<https://doi.org/10.3390/polym12081748>