

Analysis of Thickness, WVTR, and Microstructure of Whey-Gelatin Protein Based Film with Variation in Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) Concentration

Qifyanti Fitrah¹, Fahrullah Fahrullah^{1*}

¹Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

Article History

Received: April 28th, 2024

Revised: May 11th, 2024

Accepted: June 08th, 2024

*Corresponding Author:

Fahrullah Fahrullah,

Program Studi Peternakan,

Fakultas Peternakan,

Universitas Mataram, Nusa

Tenggara Barat, Indonesia;

Email: fahrullah@unram.ac.id

Abstract: Edible film is a thin film that can be eaten or consumed directly and serves as a barrier to water vapour, light, gas, fat, and other solutes. Edible film has biodegradable properties that reduce environmental damage. The purpose of this study was to determine the effect of chia seed addition with different concentrations on the thickness, water vapour transmission rate (WVTR), and microstructure of protein-whey gelatin-based edible film. The study employed a completely randomized design comprising three treatments and three replicates. The treatments comprised the addition of chia seeds at different concentrations, namely C1 (0.05 ml), C2 (0.10 ml) and C3 (0.15 ml). The collected data were analysed using Analysis of Variance (ANOVA), with significant differences being followed by Duncan Multiple Range Test (DMRT). In addition, microstructure measurements were analysed descriptively. The addition of different concentrations of chia seeds resulted in a significant difference ($P < 0.01$) in the thickness value of whey-gelatin protein-based edible films, but no difference ($P > 0.05$) in the WVTR of whey-gelatin protein-based edible films. The study produced edible films with thickness values of 0.294–0.304 mm, WVTR of 4.57–5.41 g/mm²/day. The use of chia seed at a concentration of 0.10 ml produces a film with good thickness and WVTR values in comparison to other treatments. The resulting thickness value is 0.302 mm, while the WVTR is 4.57-5.41 g/mm²/day. Furthermore, the film microstructure is denser and more uniform.

Keywords: Chia Seed; Gelatin; Protein; Whey.

Pendahuluan

Edible film adalah lapisan tipis yang bisa dimakan atau dikonsumsi secara langsung dan berfungsi sebagai penghalang terhadap uap air, cahaya, gas, lemak, serta zat terlarut lainnya. Edible film memiliki sifat yang *biodegradable* sehingga mengurangi kerusakan lingkungan (Telussa et al., 2023) serta berfungsi sebagai pembawa aditif, mineral, vitamin, antimikroba, antioksidan, sebagai bahan pengawet untuk meningkatkan atau memperbaiki rasa serta warna produk yang dikemas (Mishra et al., 2018; Otoni et al., 2017), selain itu juga dapat meningkatkan kandungan produk yang dikemasnya (Ribeiro et al., 2021).

Penggunaan protein sebagai bahan dasar dalam pembuatan edible film semakin populer karena sifatnya yang ramah lingkungan dan

kemampuannya untuk meningkatkan kualitas produk makanan (Murrieta-Martínez et al., 2018; Reichert et al., 2020). Protein memiliki kemampuan membentuk jaringan film yang baik, memberikan sifat penghalang terhadap gas dan uap air yang sangat efektif (Cinelli et al., 2014). Berbagai jenis protein, seperti protein whey (Azevedo et al., 2015; Fahrullah et al., 2022; Hasnelly et al., 2015; Janjarasskul & Tananuwong, 2019; Mihalca et al., 2021), gelatin (Fahrullah, Kisworo, Bulkaini, et al., 2024; Karakoyun & Keskin, 2023), maupun komposit dari kedua protein tersebut (Fahrullah, Bulkaini, et al., 2023; Fahrullah, Kisworo, Noersidiq, et al., 2024; Fahrullah, Lilik, et al., 2023), telah dieksplorasi untuk tujuan ini. Protein juga dapat membawa berbagai aditif seperti antimikroba (Fahrullah, Ervandi, & Rosyidi, 2021; Fahrullah, Ervandi,

Indrianti, et al., 2021; Fahrullah, 2021) dan antioksidan yang bermanfaat untuk memperpanjang umur simpan produk makanan serta menjaga kualitasnya. Selain itu, film berbasis protein dapat memperbaiki tekstur dan stabilitas makanan yang dikemas, serta meningkatkan nilai gizi dengan penambahan vitamin dan mineral (Janjarasskul & Tananuwong, 2019). Dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan kemasan sintesis, edible film berbasis protein menawarkan solusi yang berkelanjutan dan multifungsi untuk industri makanan (Janjarasskul & Suppakul, 2018).

Sejumlah penelitian telah dipublikasikan mengenai penggunaan protein dalam aplikasi edible film, dengan hasil yang sangat menjanjikan sebagai penghalang terhadap kelembaban, oksigen, lipid, dan aroma (Schmid, 2013; Schmid & Müller, 2018). Protein whey, yang berasal dari susu, memiliki kemampuan membentuk film dengan baik dan memberikan penghalang efektif terhadap oksigen dan aroma (Chen et al., 2019; Shendurse, 2018). Namun, tantangan utama dalam penggunaannya adalah sifat whey protein yang hidrofilik, yang membuat kemampuan penghalang uap airnya kurang optimal (Azevedo et al., 2015; Teixeira et al., 2014). Maka dari itu perlu upaya pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan efisiensi film berbasis protein sebagai penghalang uap air tanpa mengorbankan sifat ramah lingkungannya. Upaya ini menunjukkan potensi besar protein sebagai bahan dasar berkelanjutan untuk kemasan makanan, menggabungkan manfaat ekologis dan fungsional (Galus & Kadzińska, 2016).

Penambahan polisakarida dari biji tanaman yang mampu menghasilkan gel dianggap sangat menjanjikan dalam pengembangan kemasan yang dapat dimakan (Soukoulis et al., 2018). Salah satu biji-bijian yang dapat dipergunakan dalam pembentuk edible film adalah biji chia/*chia seed* (*Salvia hispanica L.*) (Cuomo et al., 2020; Fahrullah, Kisworo, et al., 2023). Biji chia memiliki sifat fisik yang memungkinkan pembentukan lapisan seperti kapsul yang berasal dari komponen gum-nya. Lapisan ini terbentuk ketika biji chia menyerap air, mampu

menahan serta menyerap air hingga beberapa kali berat keringnya. Kemampuan ini memungkinkan biji chia mempengaruhi viskositas larutan, dan pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan pembentukan gel (Safari et al., 2016), oleh karena itu, biji chia berpotensi digunakan sebagai bahan fungsional dalam pengolahan pangan khususnya edible film. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan konsentrasi biji chia terhadap nilai ketebalan, *water vapour transmission rate* dan mikrostruktur edible film berbasis protein whey-gelatin.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilangsungkan pada bulan April hingga Mei 2024, bertempat di Laboratorium Teknologi Pengolahan Hasil Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Mataram & Laboratorium Terpadu UIN Mataram. Variabel penelitian yang digunakan adalah biji chia dengan berbagai konsentrasi yang berbeda.

Alat dan Bahan

Peralatan yang dipergunakan diantaranya adalah erlenmeyer, thermometer, timbangan digital, *hot plate* stirrer, gelas ukur, *magnetic stirrer*, tabung ukur, desikator, *micrometer screw*, *Heidolph Rotary Evaporator-Hei-VAP Value Digital G3* dan *micrometer screw*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah whey protein, biji chia, bubuk, gelatin, silica gel, akuades, etanol pro analisis, *plasticizer* gliserol, aluminium foil dan kertas label.

Ekstraksi Biji Chia

Biji chia dibersihkan terlebih dahulu dengan mencucinya menggunakan etanol empat kali dan diaduk selama 10 menit untuk menghilangkan kontaminan fisik. Selanjutnya, biji chia dimaserasi dalam etanol pro analisis selama tiga hari dan disaring menggunakan kertas saring Whatman 41 untuk mendapatkan filtrat biji chia. Filtrat tersebut kemudian diuapkan menggunakan *Heidolph Rotary Evaporator-Hei-VAP Value Digital G3* untuk mendapatkan larutan biji chia (Khazaei et al., 2014).

Pembuatan Larutan Film

Bubuk whey-gelatin dan biji chia (b/v) dicampur sesuai dengan perlakuan yang ditentukan, kemudian ditambahkan air suling hingga larutan mencapai volume akhir 10 mL. Larutan whey dan biji chia tersebut ditambahkan dengan plasticizer 30%, lalu larutan dipanaskan menggunakan suhu $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ di atas *hot plate stirrer* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 250 rpm selama 30 menit, setelah itu larutan film tersebut kemudian dituang ke dalam cawan petri dan didiamkan pada suhu kamar selama 24 jam untuk menghitung waktu gelasi. Edible film yang sudah jadi kemudian dikemas menggunakan kertas pembungkus sebelum dilakukan pengujian (Modifikasi Fahrullah, Eka Radiati, et al., 2020; Fahrullah, Kisworo, et al., 2023; Fahrullah, Radiati, et al., 2020; Maruddin et al., 2018).

Ketebalan Film

Pengukuran ketebalan film diukur dengan *micrometer screw*. Ketebalan rata-rata diperoleh dari lima titik pengukuran yang berbeda, termasuk empat bagian pinggiran dan satu bagian tengah (Maruddin et al., 2018; Sabil et al., 2021).

WVTR

Pengukuran WVTR dilakukan dengan menempatkan film ke dalam desikator yang telah diisi 3 g silika gel, kemudian diukur setiap 24 jam selama 5 hari. Nilai WVTR dihitung dalam satuan $\text{g}/\text{mm}^2/\text{hari}$ menggunakan rumus dalam persamaan (ASTM E 96 (1995), 1995):

$$WVTR = \frac{n}{t \times A} \quad \dots (1)$$

Ket:

n : perubahan berat (g)

t : time (day)

A : luas film yang dapat dimakan (mm^2)

Mikrostruktur Film

Mikrostruktur diamati menggunakan mikroskop elektron SEM JEOL JCM-7000. Edible film yang telah dipersiapkan berukuran $0,5 \times 0,5$ cm, kemudian diberi lapisan karbon dan emas sebelum ditempatkan pada perangkat SEM untuk pengamatan mikrostruktur.

Analisis Data

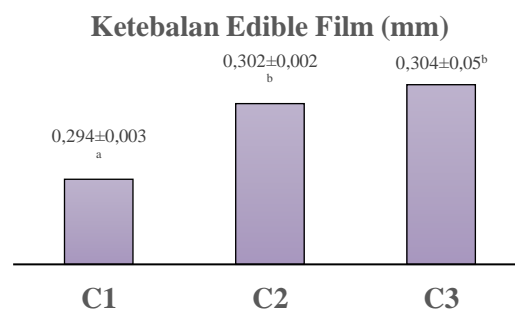
Penelitian ini mengadopsi metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga

perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan yang diujikan terdiri dari C1: konsentrasi chia seed 0,05 ml; C2: konsentrasi chia seed 0,10 ml; dan C3: konsentrasi chia seed 0,15 ml. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), dan jika terdapat perbedaan yang signifikan, dilanjutkan dengan pengujian *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Sementara untuk pengukuran mikrostruktur dianalisis secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

Ketebalan Edible Film

Ketebalan film merupakan salah satu parameter penting yang diukur untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan fungsionalitasnya. Gambar 1 memperlihatkan nilai ketebalan edible film dengan penggunaan konsentrasi biji chia yang berbeda.



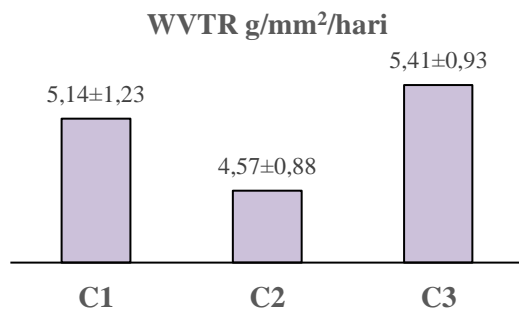
Gambar 1. Ketebalan edible film berbasis protein whey-gelatin

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa seiring bertambahnya konsentrasi biji chia memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap nilai ketebalan edible film berbasis protein whey-gelatin. Rataan nilai ketebalan berkisar antara 0,294-0,304 mm. Konsentrasi biji chia dalam edible film memiliki dampak langsung pada ketebalannya. Dengan meningkatnya konsentrasi biji chia, ketebalan edible film juga meningkat. Peningkatan nilai ketebalan ini disebabkan oleh penambahan jumlah konsentrasi polimer yang nantinya akan mempengaruhi ketebalan film (Capitani et al., 2016; Dick et al., 2016). Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi biji chia cenderung menyebabkan peningkatan ketebalan film. Hal ini dikarenakan sifat hidrofilik gum biji chia, yang memiliki kapasitas

untuk menyerap air dan membentuk gel, sehingga meningkatkan volume dan ketebalan film (Cuomo et al., 2020). Selain itu, polisakarida dalam biji chia membantu membentuk matriks yang lebih padat, menghasilkan film yang lebih tebal dan kuat (Jouki et al., 2014). Studi lain juga mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa variasi konsentrasi biji chia dapat digunakan untuk mengontrol ketebalan dan sifat mekanis edible film, memberikan fleksibilitas dalam aplikasi kemasan makanan (Hashemi & Mousavi Khaneghah, 2017). Kaewprachu et al. (2016) menyatakan bahwa peningkatan volume total larutan akan meningkatkan jumlah total padatan dalam larutan, sehingga jumlah polimer yang membentuk matriks edible film juga meningkat.

WVTR Edible Film

WVTR film adalah ukuran penting untuk menilai kemampuan film dalam mengatur kelembaban dan konservasi produk. Gambar 2 memperlihatkan nilai ketebalan edible film dengan penggunaan konsentrasi biji chia yang berbeda.



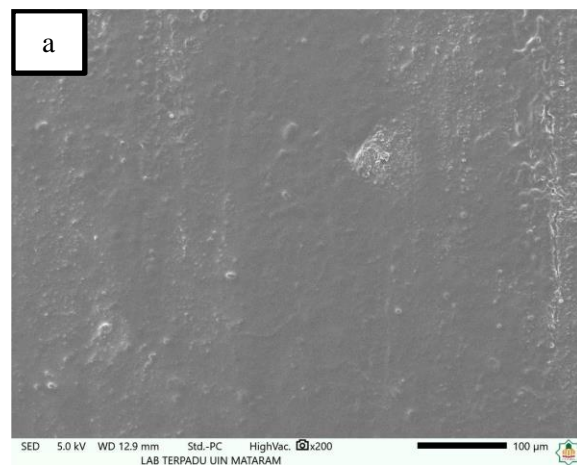
Gambar 2. WVTR edible film berbasis protein whey-gelatin

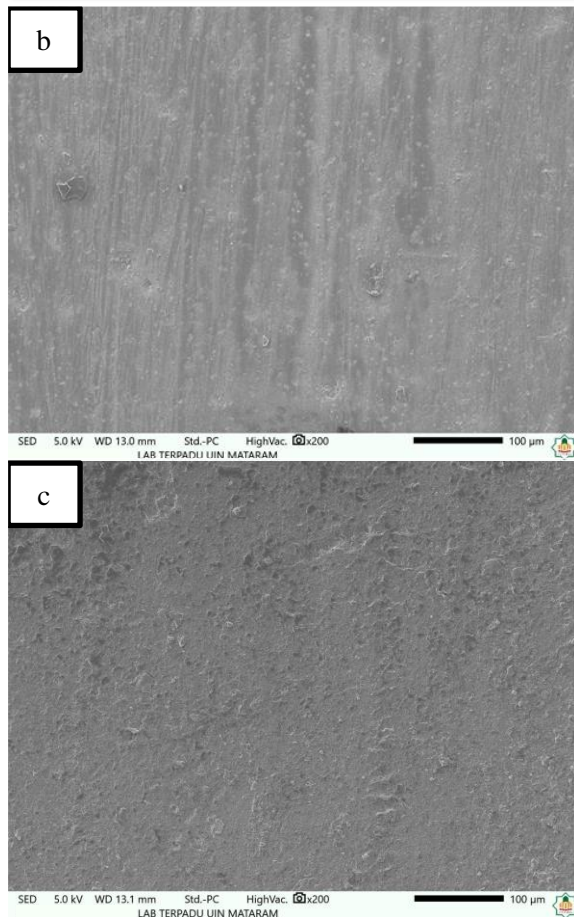
Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa seiring bertambahnya konsentrasi biji chia tidak memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P>0,05$) terhadap WVTR edible film berbasis protein whey-gelatin. Rataan WVTR yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 4,57-5,41 g/mm²/hari. Nilai WVTR yang dihasilkan lebih rendah apabila dibandingkan dengan penelitian (Fahrullah, Kisworo, Noersidiq, et al., 2024) yang menghasilkan WVTR 6,23-6,64 g/mm²/hari dengan menggunakan bahan polimer whey dengan *chia seed*. Peningkatan terjadi pada perlakuan C3, hal ini disebabkan oleh sifat hidrofilik dari biji chia yang mampu menarik dan menyerap air lebih banyak, sehingga

memungkinkan uap air lebih mudah menembus film. Penambahan biji chia dalam konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan signifikan pada WVTR film protein, yang mengindikasikan penurunan sifat penghalang film terhadap uap air. Studi ini juga mengungkapkan bahwa struktur matriks film menjadi lebih porous dengan meningkatnya konsentrasi biji chia, yang turut berkontribusi pada peningkatan WVTR (Dick et al., 2015). WVTR merupakan sifat yang paling relevan yang harus dipertimbangkan dalam pengembangan edible film dikarenakan sifat ini mengatur perpindahan air antara film dengan lingkungan eksternal (Sandoval et al., 2019), oleh karena itu WVTR pada edible film harus serendah mungkin untuk mencegah difusi air yang berlebihan melalui film (Sapper et al., 2018). Peningkatan nilai WVTR yang dihasilkan pada film merupakan satu masalah yang dihadapi dalam pengembangan edible film untuk aplikasi produk pangan (Hosseini et al., 2015) dan dengan demikian nilai WVTR yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa edible film ini masih dapat menjadi penghalang yang lebih baik untuk uap air dikarenakan masih sesuai dengan *Japanese Industrial Standard* (JIS) yakni maksimum 10 g/mm²/hari.

Mikrostruktur Edible Film

Mikrostruktur film mencakup penampang struktur permukaan dan karakteristik permukaan film yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan fungsionalnya. Gambar 3 memperlihatkan mikrostruktur edible film dengan penggunaan konsentrasi biji chia yang berbeda.





Gambar 3. Mikrostruktur edible film berbasis protein whey-gelatin dengan penambahan biji chia dengan konsentrasi yang berbeda yang berbeda menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Tujuannya adalah untuk menampilkan partikel-partikel penyusun material yang terdapat pada edible film. Pengamatan mikrostruktur film merupakan aspek yang penting dalam penentuan karakteristik film (Fahrullah, Kisworo, Noersidiq, et al., 2024; Fahrullah & Ervandi, 2021, 2022; Mardiyah et al., 2022). Adapun penelitian yang telah dilakukan menghasilkan struktur mikro pada Gambar 3. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi biji chia yang berbeda mempengaruhi mikrostruktur edible film berbasis whey-gelatin secara signifikan. Peningkatan konsentrasi biji chia menghasilkan struktur film yang lebih padat dan seragam, karena komponen gum dari biji chia berperan dalam mengisi ruang-ruang kosong

dalam matriks film (Timilsena et al., 2015). Hal ini menghasilkan permukaan film yang lebih halus dan mengurangi porositas, sehingga meningkatkan sifat penghalang film terhadap uap air dan gas. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa struktur edible film bebas dari rongga dan memiliki kenampakan yang homogen, tanpa adanya retakan, hal ini menandakan bahwa interaksi yang baik antara polimer protein, biji chia dan *plasticizer* gliserol selama proses pemanasan. Selain itu juga, larutan film memiliki sistem emulsi yang stabil yang dapat dipertahankan selama proses pengeringan (Hasheminya et al., 2019). Sifat viskoelastik dari gel chia juga memberikan fleksibilitas tambahan, meningkatkan *tensile strength*, dan mengurangi risiko keretakan atau kerapuhan (Acquah et al., 2020).

Kesimpulan

Penggunaan konsentrasi biji chia sebesar 0,10 ml menghasilkan nilai ketebalan dan WVTR yang baik dibandingkan dengan perlakuan lainnya yakni nilai ketebalan 0,302 mm, WVTR 4,57-5,41 g/mm²/hari dan menghasilkan mikrostruktur film yang lebih padat dan seragam, karena komponen gum dari biji chia berperan dalam mengisi ruang-ruang kosong dalam matriks film

Kesimpulan

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas dukungan dan bantuan pendanaan dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.

Referensi

- Acquah, C., Zhang, Y., Dubé, M. A., & Udenigwe, C. C. (2020). Formation and Characterization of Protein-Based Films From Yellow Pea (*Pisum sativum*) Protein Isolate and Concentrate for Edible Applications. *Current Research in Food Science*, 14(2): 61-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.008>
- ASTM E 96 (1995). (1995). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, E 96/E 96M - 05. *ASTM International*.

- Azevedo, V. M., Silva, E. K., Gonçalves Pereira, C. F., da Costa, J. M. G., & Borges, S. V. (2015). Whey Protein Isolate Biodegradable Films: Influence of The Citric Acid and Montmorillonite Clay Nanoparticles on The Physical Properties. *Food Hydrocolloids*, 43: 252-258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.027>
- Capitani, M. I., Matus-Basto, A., Ruiz-Ruiz, J. C., Santiago-García, J. L., Betancur-Ancona, D. A., Nolasco, S. M., Tomás, M. C., & Segura-Campos, M. R. (2016). Characterization of Biodegradable Films Based on *Salvia hispanica* L. Protein and Mucilage. *Food and Bioprocess Technology*, 9(8): 1276–1286. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1717-y>
- Chen, H., Wang, J., Cheng, Y., Wang, C., Liu, H., Bian, H., Pan, Y., Sun, J., & Han, W. (2019). Application of Protein-Based Films and Coatings For Food Packaging: A Review. *Polymers*, 11(12): 2039. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11122039>
- Cinelli, P., Schmid, M., Bugnicourt, E., Wildner, J., Bazzichi, A., Anguillesi, I., & Lazzeri, A. (2014). Whey Protein Layer Applied on Biodegradable Packaging Film to Improve Barrier Properties While Maintaining Biodegradability. *Polymer Degradation and Stability*, 108: 151-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.07.007>
- Cuomo, F., Iacovino, S., Messia, M. C., Sacco, P., & Lopez, F. (2020). Protective Action Of Lemongrass Essential Oil on Mucilage From Chia (*Salvia hispanica*) Seeds. *Food Hydrocolloids*, 105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105860>
- Dick, M., Costa, T. M. H., Gomaa, A., Subirade, M., Rios, A. D. O., & Flôres, S. H. (2015). Edible Film Production from Chia Seed Mucilage: Effect of Glycerol Concentration on Its Physicochemical and Mechanical Properties. *Carbohydrate Polymers*, 130: 198-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>
- Dick, M., Pagno, C. H., Costa, T. M. H., Gomaa, A., Subirade, M., Rios, A. D. O., & Flôres, S. H. (2016). Edible Films Based on Chia Flour: Development and Characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2). DOI: <https://doi.org/10.1002/app.42455>
- Fahrullah, Ervandi, M., Indrianti, M. A., Suparwata, D. O., Yasin, I. A., Gobel, Y. A., Mokoolang, S., & Mokoginta, M. M. (2021). Mechanical Properties of Whey Composite Edible Film with The Addition of Clove Essential Oil and Different Types of Plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 755(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/755/1/012004>
- Fahrullah, 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): 369-376. DOI: <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: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(2): 592-600. DOI: <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i2.10060>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i4.5664>
- 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): 333-339. DOI: <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.31>
- Fahrullah, F., & Ervandi, M. (2021). Mikrostruktur Edible Film Whey Dangka dengan Penambahan Karagenan dan Plasticizer Sorbitol 35%. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan Tropis*, 6(2): 26–31. DOI: <https://doi.org/10.33772/jitro.v8i1.14785>
- Fahrullah, F., & Ervandi, M. (2022).

- Karakterisasi mikrostruktur film whey dengan penambahan konjac glucomannan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3): 403–411. DOI: <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.12303>
- Fahrullah, F., Kisworo, D., Bulkaini, B., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., Ulkiyah, K., Kartika, K., & Rahmawati, L. (2024). Optimization of the Thickness, Water Vapour Transmission Rate and Morphology of Protein-Based Films Incorporating Glycerol and Polyethylene Glycol Plasticizers. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan (Indonesian Journal of Animal Science)* 34(1): 11–20. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2024>
- Fahrullah, F., Kisworo, D., & 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. DOI: <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.4978>
- Fahrullah, F., Kisworo, D., Noersidiq, A., Bulkaini, B., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., & Maslami, V. (2024). Microstructure Characterization of Whey Films Using Different Concentrations of Chia Seeds and 35% Sorbitol as Plasticizer. *Jurnal Pijar MIPA*, 19(2): 348–352. DOI: <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i2.6589>
- Fahrullah, F., Lilik, R., Kartika, K., Kalisom, U., & Wahid, Y. (2023). Effect of whey protein on thickness, water vapour transmission rate, and water content of gelatin film. *Jurnal Pijar MIPA*, 18(6), 945–949. <https://doi.org/10.29303/jpm.v18i6.5680>
- Fahrullah, F., Noersidiq, A., & 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(4): 226–233. <https://doi.org/10.18502/jfqhc.9.4.11377>
- Fahrullah, F., Radiati, L. E., Purwadi, P., & Rosyidi, D. (2020). The Effect of Different Plasticizers on the Characteristics of Whey Composite Edible Film. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 15(1): 31-37. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.01.4>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Whey Protein Edible Films Modified with Almond And Walnut Oils. *Food Hydrocolloids*, 52: 78-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.013>
- Hashemi, S. M. B., & Mousavi Khaneghah, A. (2017). Characterization of Novel Basil-Seed Gum Active Edible Films and Coatings Containing Oregano Essential Oil. *Progress in Organic Coatings*, 110: 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.04.041>
- Hasheminya, S. M., Mokarram, R. R., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, H., Kafil, H. S., & Dehghannya, J. (2019). Development And Characterization Of Biocomposite Films Made From Kefiran, Carboxymethyl Cellulose and Satureja Khuzestanica Essential Oil. *Food Chemistry*, 289: 443-452. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.076>
- Hasnelly, Nurminabari, I. S., & Nasution, M. E. U. (2015). Pemanfaatan Whey Susu Menjadi Edible Film Sebagai Kemasan Dengan Penambahan CMC, Gelatin dan Plasticizer. *Pasundan Food Technology Journal*, 2(1): 62-69.
- Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2015). Bio-based composite Edible Films Containing *Origanum vulgare* L. Essential Oil. *Industrial Crops and Products*, 67: 403-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.062>
- Janjarasskul, T., & Suppakul, P. (2018). Active and Intelligent Packaging: The Indication of Quality and Safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5): 808-831. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>
- Janjarasskul, T., & Tananuwong, K. (2019). Role of Whey Proteins in Food Packaging. *Reference Module in Food Science*. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22399-8>
- Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Koocheki, A. (2014). Characterization of

- Antioxidant-Antibacterial Quince Seed Mucilage Films Containing Thyme Essential Oil. *Carbohydrate Polymers*, 99: 537-546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.077>
- Kaewprachu, P., Osako, K., Benjakul, S., Tongdeesontorn, W., & Rawdkuen, S. (2016). Biodegradable Protein-based Films and Their Properties: A Comparative Study. *Packaging Technology and Science*, 29(2): 77-90. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.2183>
- Karakoyun, O., & Keskin, S. O. (2023). Effects of Gelatin Concentration and Co-Plasticizer Type On Physical, Mechanical And Microstructural Properties of Corn Starch-Gelatin Composite Edible Films. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, 47(1): 140-153. DOI: <https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2023.1.09>
- Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of New Biodegradable Edible Film Made from Basil Seed (*Ocimum basilicum* L.) Gum. *Carbohydrate Polymers*, 102(1): 199-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.062>
- Mardiyah, U., Aisyah, J. S. N., & Sandra, L. (2022). Karakterisasi Mikrostruktur Dan Komposisi Unsur Gelatin Ikan Kurisi (*Nemipterus bathybius*) menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(2): 19–25. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.02.3>
- Maruddin, F., Malaka, R., Fahrullah, F., & Taufik, M. (2018). Karakteristik Edible Film Berbahan Whey Dangke dengan Penambahan Karagenan. *Jurnal Veteriner*, 19(2): 291-297. DOI: <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2018.19.2.291>
- Mihalca, V., Kerezsi, A. D., Weber, A., Grubertraub, C., Schmucker, J., Vodnar, D. C., Dulf, F. V., Socaci, S. A., Fărcaș, A., Mureșan, C. I., Suharoschi, R., & Pop, O. L. (2021). Protein-based Films and Coatings for Food Industry Applications. *Polymers*, 13(5): 769. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13050769>
- Mishra, D., Khare, P., Singh, D. K., Luqman, S., Ajaya Kumar, P. V., Yadav, A., Das, T., & Saikia, B. K. (2018). Retention of Antibacterial and Antioxidant Properties of Lemongrass Oil Loaded on Cellulose Nanofibre-poly Ethylene Glycol Composite. *Industrial Crops and Products*, 114: 68-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.077>
- Murrieta-Martínez, C. L., Soto-Valdez, H., Pacheco-Aguilar, R., Torres-Arreola, W., Rodríguez-Félix, F., & Márquez Ríos, E. (2018). Edible Protein Films: Sources and Behavior. *Packaging Technology and Science*, 13(3): 113-122. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.2360>
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5): 1151-1169. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M. B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B. M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., De Mets, S., Gómez, E. C., Ißbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D. F., Campos, I., Sauter, E., ... Schmid, M. (2020). Bio-based Packaging: Materials, Modifications, Industrial Applications and Sustainability. *Polymers*, 12 (7): 1558. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12071558>
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021). Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2): 209–231. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4>
- Sabil, S., Maruddin, F., Wahyuni, T., & Taufik, M. (2021). Edible Film Characteristics at Different Casein Concentrations. *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012115>
- Safari, A., Kusnandar, F., & Syamsir, E. (2016). Biji Chia : Karakteristik Gum dan Potensi Kesehatannya. *Pangan*, 25(2): 137-146. DOI: <https://doi.org/10.33964/jp.v25i2.329>
- Sandoval, D. C. G., Sosa, B. L., Martínez-Ávila, G. C. G., Fuentes, H. R., Abarca, V. H. A., & Rojas, R. (2019). Formulation and Characterization of Edible Films Based on Organic Mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*, 9(8): 506. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings9080506>
- Sapper, M., Wilcaso, P., Santamarina, M. P., Roselló, J., & Chiralt, A. (2018). Antifungal and Functional Properties of Starch-Gellan Films Containing Thyme (*Thymus zygis*) Essential Oil. *Food Control*, 92: 505-515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.004>
- Schmid, M. (2013). Properties of Cast Films Made from Different Ratios of Whey Protein Isolate, Hydrolysed Whey Protein Isolate and Glycerol. *Materials*, 6(8): 3254-3269. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma6083254>
- Schmid, M., & Müller, K. (2018). Whey Protein-based Packaging Films and Coatings. *Whey Proteins: From Milk to Medicine*. 407-437. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00012-6>
- Shendurse, A. (2018). Milk Protein Based Edible Films and Coatings—Preparation, Properties and Food Applications. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(2): 219-226. DOI: <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00273>
- Soukoulis, C., Gaiani, C., & Hoffmann, L. (2018). Plant Seed Mucilage as Emerging Biopolymer in Food Industry Applications. *Current Opinion in Food Science*, 22: 28-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.004>
- Teixeira, B., Marques, A., Pires, C., Ramos, C., Batista, I., Saraiva, J. A., & Nunes, M. L. (2014). Characterization of Fish Protein Films Incorporated with Essential Oils of Clove, Garlic and Origanum: Physical, Antioxidant and Antibacterial Properties. *LWT*, 59(1): 533-539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.024>
- Telussa, I., Tanasale, M. F. J. D. P., Ridho, A., Madja, A., & Telussa, I. (2023). Synthesis and Characterization of Biodegradable Plastic from Tropical Marine Microalgae *Navicula* sp . TAD01. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9): 6877–6884. DOI: <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.2107>
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Kasapis, S., & Adhikari, B. (2015). Rheological and Microstructural Properties of The Chia Seed Polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81: 991-999. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.09.040>