

The Water Content, Solubility, and Optical Properties of Whey-Gelatin Multilayer Films Enriched with Green Tea Powder

Fahrullah Fahrullah^{1*}, Bulkaini¹, Djoko Kisworo¹, Wahid Yulianto¹, Baiq Rani Dewi Wulandani¹, Haryanto¹

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

Article History

Received : August 18th, 2023

Revised : August 28th, 2023

Accepted : September 18th, 2023

*Corresponding Author:

Fahrullah Fahrullah, Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Email: fahrullah@unram.ac.id

Abstract: This biodegradable packaging is designed to reduce the negative impact on the environment caused by plastic pollution, while still maintaining the shelf life, quality and safety of the packaged food products. The objective of this study was to analyse the moisture content, solubility and optical properties of whey-gelatin multilayer film enriched with green tea powder. This study was conducted experimentally, using a completely randomised design with four treatments and five replicates. The treatments consisted of P1: gelatin/whey-gelatin (G/WG); P2: gelatin/5% green tea powder/whey-gelatin (G/5% GTP/WG); P3: gelatin/10% green tea powder/whey-gelatin (G/10% GTP/WG) and P4: gelatin/15% green tea powder/whey-gelatin (G/15% GTP/WG). The moisture content and solubility values of whey-gelatin multilayer films showed significant differences ($P < 0.01$). Moisture content was 33.0204-35.3653%; solubility was 40.19-49.96%. The film enriched with 5% green tea powder (P2) produced the best values of moisture content of 34.3536%, solubility of 47.97% and optical ($L^* = 61.00$; $a^* = -0.36$ and $b^* = 22.58$).

Keywords: Film, gelatin, green tea, multilayer, whey.

Pendahuluan

Kemasan yang ada di pasaran sebagian besar terbuat dari polimer konvensional sintesis seperti polietilena, polipropilena dan polistirena, bahan kemasan ini dapat melindungi makanan secara efektif dari kerusakan fisik (Moeini *et al.*, 2022). Namun terlepas dari manfaat tersebut kemasan ini dapat menimbulkan resiko kesehatan akibat migrasi bahan berbahaya ke dalam bahan makanan serta limbah pada yang dihasilkan (Butt *et al.*, 2023), sehingga menyebabkan kekhawatiran karena penggunaan bahan kemasan yang tidak dapat diurai dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang signifikan (Al-Hilifi *et al.*, 2023). Ritchie & Roser (2018) melaporkan bahwa kurang lebih 6% plastik yang didaur ulang di dunia, plastik yang dipergunakan untuk diurai menjadi komponen dasar dibutuhkan waktu sekitar 100

tahun. Permasalahan ini dapat ditempuh dengan mengembangkan kemasan yang bersifat biodegradable yang memiliki inovasi untuk menggantikan kemasan plastik. Kemasan biodegradable ini dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran plastik, namun tetap mempertahankan umur simpan, kualitas dan keamanan produk pangan yang dikemasnya (Wang *et al.*, 2022). Oleh karena itu perhatian dunia akademis terfokus pada studi tentang polimer berbasis biologis dan alami untuk aplikasi potensial dalam kemasan makanan (Dick *et al.*, 2015; Fahrullah *et al.*, 2021, Fahrullah *et al.*, 2022; Fahrullah *et al.*, 2023; Fahrullah, 2021; Fahrullah *et al.*, 2020a; Fahrullah *et al.*, 2020b; Fahrullah & Ervandi, 2022)

Penggunaan biopolimer dari sumber organik mengalami kemajuan yang signifikan dalam pembuatan film yang bersifat

biodegradable (Butt *et al.*, 2023). Protein merupakan salah satu biopolimer yang dapat dipergunakan dalam pembuatan film yang menjanjikan dengan berbagai fitur seperti sifat mekanik, fisikokimia dan optik yang sangat baik (Gómez-Estaca *et al.*, 2016; Kaewprachu *et al.*, 2016; Ribeiro-Santos *et al.*, 2018). Film protein whey ini telah dilaporkan memiliki penghalang oksigen dan aroma yang baik pada kelembaban yang relatif rendah. Selain itu, film ini transparan dan fleksibel, efisiensi mereka hanya terganggu oleh kelembaban karena protein whey adalah protein hidrofilik (Bahram *et al.*, 2014; Galus & Kadzińska, 2016).

Film berbasis gelatin umumnya memiliki sifat optik yang baik dan sifat penghalang terhadap oksigen yang sangat baik (Nilsuwan *et al.*, 2017)), sifat mekanik dan penghalang yang baik terhadap gas, senyawa volatile, minyak dan UV (Kanmani & Rhim, 2014; Tongnuanchan *et al.*, 2016). Film multilayer biasanya terdiri dari dua atau lebih polimer yang berbeda (Wang *et al.*, 2020), film multilayer dapat menggabungkan sifat fungsional dari berbagai polimer dengan tujuan mendapatkan kemasan dalam hal perlindungan dan daya tahan yang lebih baik (Kaiser *et al.*, 2018). Pembuatan film multilayer sangat menarik untuk dilakukan dan diterapkan dalam pengemasan produk pangan karena dapat menghasilkan kelembaban dan penghalang oksigen yang baik serta karakteristik fisik dan optik yang baik pula (Fabra *et al.*, 2013).

Penggabungan antioksidan alami ke dalam edible film telah menjadi populer karena oksidasi adalah salah satu masalah utama yang mempengaruhi kualitas makanan (Wu *et al.*, 2013). Penggabungan ini juga dapat mengurangi penggunaan bahan tambahan makanan sintesis dalam produk makanan (Homthawornchoo *et al.*, 2022). Teh hijau mengandung vitamin, karbohidrat, asam amino dan polifenol seperti flavonoid, antosianin dan asam fenolat (Prasanth *et al.*, 2019; Xing *et al.*, 2019). Kandungan senyawa fenolik teh hijau jauh lebih tinggi, tidak hanya mempertahankan struktur aslinya tetapi juga komposisi keseluruhannya (Robalo *et al.*, 2022). Inklusi teh hijau telah banyak dipelajari untuk meningkatkan sifat fungsional

berbagai basis film diantaranya menggunakan gelatin (Maroufi *et al.*, 2020), agar-agar (Giménez *et al.*, 2013), pati-LLDPE (Panrong *et al.*, 2019) dan surimi (Munir *et al.*, 2020). Film edible film biopolimer yang diperkaya teh hijau tidak hanya dapat memperpanjang masa simpan dan meningkatkan kualitas produk makanan, tetapi juga memiliki potensi manfaat kesehatan bagi konsumen. Berdasarkan uraian tersebut, diketahui bahwa berbagai penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan bahan polimer yang dapat digunakan sebagai bahan pengemas produk pangan, namun penggunaan komposit protein yang dibuat menjadi film multilayer belum banyak dilakukan, sehingga pada penelitian ini dipelajari penggunaan komposit protein (whey dan gelatin) untuk menghasilkan kadar air, kelarutan dan warna yang diperkaya dengan teh hijau.

Bahan dan Metode

Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain petridish, magnetic stirrer, hotplate stirrer, thermometer, tabung ukur, Erlenmeyer, gelas ukur, timbangan digital, desikator dan stopwatch serta bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah akuades, bubuk teh hijau, gelatin, whey protein, silica gel dan plasticizer gliserol.

Preparasi sampel

Larutan pembentuk film dibuat dengan mengikuti penelitian sebelumnya oleh Maruddin *et al.*, (2018), Fahrullah *et al.*, (2020a), dan Fahrullah *et al.*, (2020b). Langkah pertama adalah tahap persiapan dengan membuat larutan edible film whey-gelatin. Serbuk whey sebanyak 8% (b/v) dicampur dengan 0,5 g (b/v) kemudian ditambahkan akuades hingga volume larutan mencapai 25 ml. Bubuk teh hijau dilarutkan dalam campuran tersebut dengan konsentrasi 0, 5, 10 dan 15% (b/v). Larutan film whey-gelatin ditambahkan dengan plasticizer gliserol 30%, kemudian dipanaskan pada suhu $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ di atas hot plate stirrer dengan kecepatan 250 rpm selama 30 menit. Dituangkan ke dalam cawan petri dan kemudian ditempatkan pada suhu kamar selama 24 jam. Edible film yang telah jadi

dikemas menggunakan aluminium foil selama 2 hari sebelum dilakukan pengujian.

Kadar air film multilayer

Pengukuran kadar air edible film dilakukan dengan cara cawan porselen dipanaskan ke dalam oven menggunakan suhu 100-105°C selama sejam kemudian dilakukan pendinginan menggunakan desikator dan dilanjutkan penimbangan (C). Sampel edible film sebanyak 2 g (D) dimasukkan dalam cawan porselen, selanjutnya melakukan proses pengeringan kembali menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 8jam. Sampel didinginkan kembali dalam desikator dan dilakukan proses penimbangan (E) (AOAC, 2010)

$$\text{Kadar air} = \frac{C+D-E}{D} \times 100\% \quad (1)$$

Solubilitas film multilayer

Persentase kelarutan film yaitu persentase bagian film yang terlarut dalam air setelah direndam selama 24 jam. Sampel film digunting dengan ukuran 3x3 cm, diletakkan dalam cawan aluminium yang terlebih dahulu sudah dikeringkan dan ditimbang beratnya. Sampel film dimasukkan kedalam oven yang bersuhu 100°C selama 30 menit. Timbang berat sampel kering sebagai berat kering awal (W_0), lalu sampel direndam selama 24 jam, sampel yang tidak larut dalam larutan diangkat dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam di suhu 100°C, lalu disimpan dalam desikator selama 10 menit. Kemudian diitimbang kembali berat sampel setelah perendaman (W_1). Persentase kelarutan sampel dalam air dihitung dengan persamaan 2 (Gontard *et al.*, 1994).

$$S = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

Warna film multilayer

Warna *L, *a, dan *b diukur dengan digital color meter test (T 135). Sebelum digunakan, alat dikalibrasi terlebih dahulu dengan standar yang berwarna putih (nilai kalibrasi $L=94,76$, $a=-0,795$, dan $b=2,200$). Nilai warna *L, *a, dan *b yaitu: nilai warna $L=0$ (hitam) hingga 100 (putih); $a = -60$ (hijau) hingga +60 (merah), dan $b = -60$ (biru) hingga +60 (kuning).

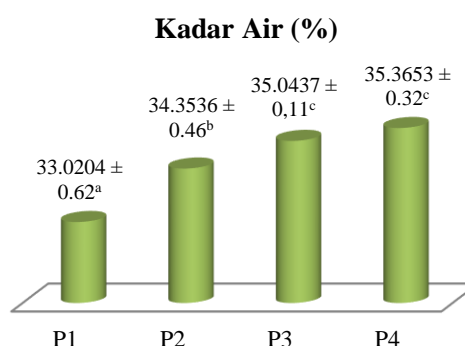
Analisa data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima ulangan. Perlakuan terdiri dari P1: gelatin/whey-gelatin (G/WG); P2: gelatin/5% bubuk teh hijau/whey-gelatin (G/5% GTP/WG); P3: gelatin/10% bubuk teh hijau/ whey-gelatin (G/10% GTP/WG) G/10% GTP/WG dan P4: gelatin/15% bubuk teh hijau/whey-gelatin (G/15% GTP/WG). Data dievaluasi secara statistik menggunakan ANOVA di SPSS 16.0. Perbedaan yang signifikan diuji lanjut menggunakan Duncan Multiple Range Test (DMRT).

Hasil dan Pembahasan

Kadar air film multilayer whey-gelatin

Kadar air film memiliki peran yang sangat penting bagi stabilitas produk pangan yang dilapisinya, oleh sebab itu film diharapkan mempunyai kadar air dengan konsentrasi yang rendah agar dalam penerapannya akan membawa dampak positif pada produk sehingga tidak menyebabkan kerusakan dan penurunan kualitas. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai kadar air (%) film multilayer whey-gelatin yang diperkaya dengan bubuk teh hijau dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kadar air film multilayer whey-gelatin yang diperkaya bubuk teh hijau

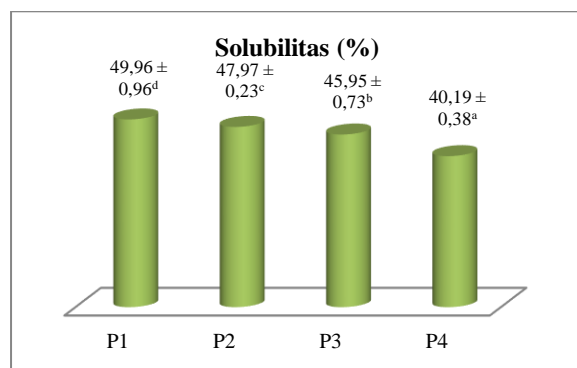
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggabungan bubuk teh hijau memberikan perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kadar air film multilayer whey-gelatin. Rataan kadar air yang dihasilkan berkisar antara 13,0204-15,3653%. Semakin tinggi konsentrasi penggabungan bubuk teh hijau maka kadar air

film multilayer yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh interaksi antara polimer protein dengan teh hijau yang dapat mengikat air dengan pembentukan gugus hidroksil yang terikat dengan kuat. Dengan kata lain pada tahapan awal hidrasi pertama, air berikatan kuat dengan biopolimer di masing-masing layer. Ketika penggabungan dari monolayer menjadi multilayer maka air mulai berada pada konfigurasi multilayer (Bergo *et al.*, 2012).

Film multilayer ini mengandung plasticizer gliserol yang memiliki sifat higroskopis yang dapat menyebabkan plasticizer ini dapat menarik air dari lingkungan sekitarnya sehingga mempengaruhi kandungan kadar air yang dihasilkan (Lee *et al.*, 2020; Negara, 2014; Riyanto *et al.*, 2017). Nilai kadar air film akan mempengaruhi ketahanan dalam mengemas suatu produk dimana kandungan air yang lebih rendah akan melindungi produk yang dikemas dibandingkan dengan film yang memiliki kandungan kadar air yang tinggi (Rahmi *et al.*, 2022). Penggunaan plasticizer gliserol dalam penelitian ini mempengaruhi kadar air yang dihasilkan, gliserol memiliki sifat hidrofilik serta hidroskopik sehingga akan mudah untuk berikatan dengan air (Rusli *et al.*, 2017).

Solubilitas film multilayer whey-gelatin

Solubilitas film merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam industri pengemasan makanan dikarenakan kemasan harus memiliki solubility yang rendah di dalam air unruk menunjukkan potensi yang baik dalam pengawetan produk selama proses penyimpanan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai solubilitas (%) film multilayer whey-gelatin yang diperkaya dengan bubuk teh hijau dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Solubilitas film multilayer whey-gelatin yang diperkaya bubuk teh hijau

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggabungan bubuk teh hijau memberikan perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap solubility film multilayer whey-gelatin. Rataan solubility yang dihasilkan berkisar antara 40,19-49,96%. Film multilayer whey-gelatin yang digabungkan dengan bubuk teh hijau memiliki solubility yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penggabungan bubuk teh hijau. Penggabungan bubuk teh hijau dapat menurunkan solubility dikarenakan interaksi protein-fenolik dalam matriks polimer sehingga mengurangi ketersediaan interaksi gugus hidroksil dengan air, akibatnya tortuositas matriks polimer meningkat dan menurunkan kelarutan dalam air (Prgomet *et al.*, 2017).

Ikatan silang antara whey-gelatin dan bubuk teh hijau juga memberikan jaringan yang padat dan pengurangan kapasitas ikatan molekul air sehingga dapat menurunkan kelarutan film (Maroufi *et al.*, 2020). Hasil ini sesuai dengan penelitian (Guo *et al.*, 2014) yang menggunakan xanthan gum dan xantham gum teroksidasi dimana dapat mengurangi kapasitas pengikatan air dan menurunkan kelarutan film. Interaksi antara protein whey-gelatin dan senyawa fenolik yang terkandung dalam bubuk teh hijau dapat menguntungkan untuk pembentukan struktur film multilayer yang lebih padat sehingga dapat menghasilkan daya tarik air yang lebih rendah (Munir *et al.*, 2020). Secara umum semua film multilayer yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan nilai kelarutan mendekati atau dibawah 50%, sehingga sangat cocok untuk aplikasi pengemas pangan berlemak (Valdés *et al.*, 2021).

Penambahan plasticizer gliserol dalam pembuatan film multilayer ini whey-gelatin ini juga dapat menyebabkan terjadinya oembentukan interaksi baru pada rantai protein dengan menurunnya kandungan rantai bebas, gliserol juga banyak mengandung komponen yang bersifat hidrofilik sehingga menyebabkan sifat film menjadi berubah sehingga akan mempengaruhi solubility film (Wulandari, 2016). Solubility film merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam industri pengemasan makanan dikarenakan kemasan harus memiliki solubility yang rendah di dalam air unruk menunjukkan potensi yang baik dalam

pengawetan produk selama proses penyimpanan.

Warna (L* a* b*) film multilayer whey-gelatin

Warna yang dihasilkan oleh film akan berpengaruh terhadap penampilan atau penampakan produk yang dilapisinya, semakin cerah warna yang dihasilkan maka akan semakin baik penampilan produk yang dikemas. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, warna (L* a* b*) film multilayer whey-gelatin yang diperkaya dengan bubuk teh hijau dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Warna L* a* b* film multilayer whey-gelatin yang diperkaya bubuk teh hijau

Perlakuan	Warna		
	L*	a*	b*
P1	66,42 ± 5,01	8,76 ± 0,41 ^b	22,60 ± 0,90
	P2	61,00 ± 3,60	-0,36 ± 0,11 ^a
P3		61,48 ± 4,61	-0,49 ± 0,02 ^a
	P4	61,44 ± 3,83	-0,66 ± 0,06 ^a

Ket: Superskrip pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,01$) antar perlakuan; L*: 0 (hitam) hingga 100 (putih); a = -60 (hijau) hingga +60 (merah), dan b = -60 (biru) hingga +60 (kuning).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa penggabungan bubuk teh hijau tidak memberikan perbedaan yang nyata ($p > 0,05$) terhadap warna L* dan warna b* film multilayer whey-gelatin namun warna a* memberikan perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,01$). Warna L* dan a* film multilayer menunjukkan penurunan seiring meningkatnya konsentrasi bubuk teh hijau, warna L* terendah diperoleh pada penggabungan bubuk teh hijau 5%, warna a* terendah diperoleh pada penggabungan bubuk teh hijau 15%, untuk warna b* menunjukkan semakin tinggi konsentrasi penggabungan teh hijau maka warna b* semakin meningkat. Terlihat bahwa penurunan warna L* berkaitan dengan peningkatan warna b* yang diperoleh dengan semakin tinggi konsentrasi bubuk teh hijau yang digabungkan dalam film. Penurunan warna L* (kecerahan) hingga menjadi lebih gelap dapat dikaitkan dengan

keberadaan senyawa fenolik yang terkandung pada teh hijau (Cheng *et al.*, 2015).

Peningkatan nilai b* pada film multilayer kemungkinan berkorelasi dengan konsentrasi pigmen warna alami yang terkandung dalam bubuk teh hijau yang memainkan peranan penting dalam mengurangi jalannya cahaya (Munir *et al.*, 2020). Hasil ini sama dengan penelitian (Siripatrawan & Noipha, 2012) yang menggunakan teh hijau secara signifikan mempengaruhi nilai L*, a* dan b*, film tanpa teh hijau memiliki warna L* yang lebih tinggi sedangkan penambahan teh hijau hingga 20% warna L* mengalami penurunan. Chalob & Abdul-Rahman (2018) menghasilkan film dari isolate protein whey mengalami peningkatan warna b* ketika konsentrasi teh hijau ditambahkan, memberikan sifat kromatik yang lebih baik dibandingkan dengan film kontrol. Warna a* film multilayer whey-gelatin menghasilkan warna -0,36 sampai -0,66 (mengarah kehijau) seiring bertambahnya konsentrasi penggabungan bubuk teh hijau.

Kesimpulan

Penggunaan bubuk teh hijau memberikan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap nilai kadar air dan solubilitas film multilayer whey-gelatin. Lapisan film yang diperkaya 5% bubuk teh hijau (P2) menghasilkan nilai terbaik yakni kadar air sebesar 34,3536%, solubilitas 47,97% dan optical (L*= 61,00; a*= -0,36 dan b*= 22,58).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram sebagai pemberi dana pada penelitian ini melalui Penelitian Peningkatan Kapasitas dengan Nomor: 2246/UN18.L1/PP/2023.

Referensi

Al-Hilifi, S. A., Al-Ibresam, O. T., Al-Hatim, R. R., Al-Ali, R. M., Maslekar, N., Yao, Y., & Agarwal, V. (2023). Development of chitosan/whey protein hydrolysate composite films for food packaging application. *Journal of Composites*

- Science*, 7(3).
<https://doi.org/10.3390/jcs7030094>
- Bahram, S., Rezaei, M., Soltani, M., Kamali, A., Ojagh, S. M., & Abdollahi, M. (2014). Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12086>
- Bergo, P., Moraes, I. C. F., & Sobral, P. J. A. (2012). Effects of different moisture contents on physical properties of PVA-Gelatin films. *Food Biophysics*, 7(4).
<https://doi.org/10.1007/s11483-012-9273-0>
- Butt, M. S., Akhtar, M., Maan, A. A., & Asghar, M. (2023). Fabrication and characterization of carnauba wax-based films incorporated with sodium alginate/whey protein. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1).
<https://doi.org/10.1007/s11694-022-01636-3>
- Chalob, K. K., & Abdul-Rahman, S. M. (2018). Mechanical, barrier and antioxidant properties of edible films made from whey protein isolate incorporated with green tea extract. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 49(4).
<https://doi.org/10.36103/ijas.v49i4.58>
- Cheng, S. Y., Wang, B. J., & Weng, Y. M. (2015). Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids. *LWT*, 63(1).
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.030>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>
- Fabra, M. J., Busolo, M. A., Lopez-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2013). Nanostructured bilayers in food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 31(1).
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.004>
- 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).
<https://doi.org/10.5398/tasj.2021.44.3.369>
- Fahrullah, F. (2021). Penggunaan minyak cengkeh dalam aplikasi edible film whey terhadap karakteristik kimawi dan mikrobiologis keju gouda. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(2).
<https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i2.10060>
- Fahrullah, F., & Ervandi, M. (2022). Karakterisasi mikrostruktur film whey dengan penambahan konjac glucomannan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 403–411.
<https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.12303>
- Fahrullah, F., Eka Radiati, L., Purwadi, & Rosyidi, D. (2020a). 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., Haryanto, H., Wulandani, B. R. D., Yulianto, W., Noersidiq, A., & Maslami V. (2023). The effects of plasticizer types on properties of whey-gelatin films. *Jurnal Biologi Tropis*. 23(3), 414–421.
<https://doi.org/10.29303/jbt.v23i3.5283>
- 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).
<https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.014>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed

- oil. *Food Technol Biotechnol*, 54(1), 78–89.
<https://doi.org/10.17113/ftb.54.01.16.3889>
- Giménez, B., López de Lacey, A., Pérez-Santín, E., López-Caballero, M. E., & Montero, P. (2013). Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 30(1).
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.014>
- Gómez-Estaca, J., Gavara, R., Catalá, R., & Hernández-Muñoz, P. (2016). The Potential of proteins for producing food packaging materials: A review. *Packaging Technology and Science*, 29(4-5).
<https://doi.org/10.1002/pts.2198>
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. -L., & 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>
- Guo, J., Ge, L., Li, X., Mu, C., & Li, D. (2014). Periodate oxidation of xanthan gum and its crosslinking effects on gelatin-based edible films. *Food Hydrocolloids*, 39.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.01.026>
- Homthawornchoo, W., Han, J., Kaewprachu, P., Romruen, O., & Rawdkuen, S. (2022). Green tea extract enrichment: Mechanical and physicochemical properties improvement of rice starch-pectin composite film. *Polymers*, 14(13).
<https://doi.org/10.3390/polym14132696>
- 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).
<https://doi.org/10.1002/pts.2183>
- Kaiser, K., Schmid, M., & Schlummer, M. (2018). Recycling of polymer-based multilayer packaging: A review. *Recycling*, 3(1).
<https://doi.org/10.3390/recycling3010001>
- Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 106(1).
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.007>
- Lee, Y. Y., Elaine, Yusof, Y. A., & Pui, L. P. (2020). Development of milk protein edible films incorporated with *Lactobacillus rhamnosus* GG. *BioResources*, 15(3).
<https://doi.org/10.15376/biores.15.3.6960-6973>
- Maniglia, B. C., De Paula, R. L., Domingos, J. R., & 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., & 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>
- Moeini, A., Pedram, P., Fattahi, E., Cerruti, P., & 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, S., Javed, M., Hu, Y., Liu, Y., & 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>
- Negara, I. M. S. dan I. nengah Si. (2014). Sintesis dan karakterisasi edible film berbahan baku gelatin hasil isolasi kulit ceker ayam broiler. *JURNAL KIMIA*, 8 (1): 120-126.
<https://doi.org/10.24843/JCHEM.2014.v08.i01.p19>
- Niliswan, K., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2017). Properties, microstructure and heat seal ability of bilayer films based on

- fish gelatin and emulsified gelatin films. *Food Biophysics*, 12(2). <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9479-2>
- 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). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Panrong, T., Karbowiak, T., & Harnkarnsujarit, N. (2019). Thermoplastic starch and green tea blends with LLDPE films for active packaging of meat and oil-based products. *Food Packaging and Shelf Life*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2019.100331>
- Prasanth, M. I., Sivamaruthi, B. S., Chaivasut, C., & Tencomnao, T. (2019). A review of the role of green tea (camellia sinensis) in anti-photoaging, stress resistance, neuroprotection, and autophagy. *Nutrients*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/nu11020474>
- Prgomet, I., Goncalves, B., Domínguez-Perles, R., Pascual-Seva, N., & 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>
- Rahmi, Q. F., Wulandari, E., & Gumilar, J. (2022). Pengaruh konsentrasi gliserol pada gelatin kulit kelinci terhadap kadar air, ketebalan film, dan laju transmisi uap air edible film. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 3(1). <https://doi.org/10.24198/jthp.v3i1.39444>
- Ribeiro-Santos, R., de Melo, N. R., Andrade, M., Azevedo, G., Machado, A. V., Carvalho-Costa, D., & Sanches-Silva, A. (2018). Whey protein active films incorporated with a blend of essential oils: Characterization and effectiveness. *Packaging Technology and Science*, 31(1). <https://doi.org/10.1002/pts.2352>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Plastic Pollution - Our World in Data. [OurWorldInData.Org](https://www.ourworldindata.org)
- Riyanto, D. N., Utomo, A. R., & Setijawati, E. (2017). Pengaruh penambahan sorbitol terhadap karakteristik fisikokimia edible film berbahan dasar pati gandum. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 16. <https://doi.org/10.33508/jtpg.v16i1.1386>
- Robalo, J., Lopes, M., Cardoso, O., Silva, A. S., & Ramos, F. (2022). Efficacy of whey protein film incorporated with portuguese green tea (Camellia sinensis L.) extract for the preservation of latin-style fresh cheese. *Foods*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/foods11081158>
- Rusli, A., Metusalach, Salengke, & Tahir, M. M. (2017). Karakterisasi edible film karagenan dengan pemlastis gliserol. *Jphpi*, 20(2).
- Siripatrawan, U., & Noipha, S. (2012). Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. *Food Hydrocolloids*, 27(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.08.011>
- Spotti, M. L., Cecchini, J. P., Spotti, M. J., & 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., & 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>
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., Prodpran, T., Pisuchpen, S., & Osako, K. (2016). Mechanical, thermal and heat sealing properties of fish skin gelatin film containing palm oil and basil essential oil with different surfactants. *Food Hydrocolloids*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.005>
- Valdés, A., Martínez, C., Garrigos, M. C., & 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>
- Wang, L., Heising, J., Fogliano, V., & Dekker, M. (2020). Fat content and storage conditions are key factors on the partitioning and activity of carvacrol in antimicrobial packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.029>
- Wang, Q., Chen, W., Zhu, W., McClements, D. J., Liu, X., & Liu, F. (2022). A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging. *Science of Food*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00132-8>
- Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., & 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>
- Wulandari, D. (2016). Pembuatan edible film berbahan gelatin kulit sapi split dengan penambahan level gliserol. *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit*, 15(1).
- Xing, L., Zhang, H., Qi, R., Tsao, R., & Mine, Y. (2019). Recent advances in the understanding of the health benefits and molecular mechanisms associated with green tea polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67 (4). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06146>
- Yavari Maroufi, L., Ghorbani, M., & Tabibiazar, M. (2020). A gelatin-based film reinforced by covalent interaction with oxidized guar gum containing green tea extract as an active food packaging system. *Food and Bioprocess Technology*, 13(9). <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02509-7>