

Karakterisasi Mikrostruktur dan Komposisi Elemental Whey Protein sebagai Bahan Film Biodegradable

Fahrullah*, Djoko Kisworo, Azhary Noersidiq

Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram
Jl. Majapahit No.62, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

*fahrullah@unram.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 02 Juli 2025
Hasil revisi diterima 06
November 2025
Accepted 10 November
2025
Diterbitkan 01 Desember
2025

Kata-kata kunci:

Whey protein;
SEM;
EDS;
Edible film;
Biodegradable;

DOI: 10.47030/trolija.v5i2.989

ABSTRAK

Akumulasi limbah plastik yang menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan mendorong pengembangan bahan kemasan pangan ramah lingkungan, salah satunya melalui penelitian penggunaan whey protein sebagai bahan dasar pembuatan film biodegradable. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mikrostruktur dan komposisi unsur whey protein menggunakan teknik *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS), serta mengevaluasi kaitannya dengan potensi aplikasi whey protein sebagai bahan film biodegradable. Serangkaian pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop elektron pemindai (SEM), sedangkan analisis komposisi unsur dilakukan melalui spektroskopi sinar-X dispersi energi (EDS) untuk mengetahui profil kandungan unsur pada permukaan whey protein. Data dianalisis secara deskriptif untuk menginterpretasikan sifat morfologi dan kimia dari sampel. Hasil SEM menunjukkan bahwa whey protein memiliki struktur permukaan yang kasar, tidak beraturan, dan cenderung membentuk agregat yang ditandai dengan pori-pori mikroskopis. Sifat-sifat ini mendukung luas permukaan yang tinggi dan reaktivitas yang baik, meskipun agregasi yang besar dapat berdampak negatif terhadap stabilitas dan homogenitas larutan. Hasil EDS menunjukkan dominasi unsur karbon dan oksigen, serta keberadaan mineral seperti natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). Mineral-mineral ini diketahui berperan dalam pembentukan jaringan dan stabilitas struktur protein melalui ikatan ionik. Kombinasi antara mikrostruktur yang kompleks dan komposisi unsur fungsional menjadikan whey protein sebagai bahan yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi film biodegradable yang mendukung inovasi kemasan pangan berkelanjutan.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 02 July 2025
Received in revised from
06 November 2025
Accepted 10 November

ABSTRACT

The accumulation of plastic waste that causes various environmental problems has driven the development of eco-friendly food packaging materials, one of which involves research on the use of whey protein as a base material for producing biodegradable films. The present study aims

2025
Available online 01
December 2025

Key words:
Whey protein;
SEM;
EDS;
Edible film;
Biodegradable;

DOI: 10.47030/trolija.v5i2.989

to analyse the microstructure and elemental composition of whey protein using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) techniques, and evaluate its relationship with its potential application as a biodegradable film material. A series of microstructural observations were made using a scanning electron microscope (SEM), while elemental composition analysis was carried out through energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) to determine the elemental content profile on the surface of whey protein. The data were analysed descriptively in order to interpret the morphological and chemical properties of the samples. SEM results demonstrated that whey protein exhibited a rough, irregular surface structure and a propensity to form aggregates characterised by microscopic pores. These properties are conducive to high surface area and good reactivity, although large aggregations may have a deleterious effect on the stability and homogeneity of the solution. EDS results indicate the prevalence of carbon and oxygen elements, in addition to the presence of minerals such as sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg). These minerals are known to play a role in network formation and protein structure stability through ionic bonding. The combination of complex microstructure and functional element composition renders whey protein a potential material for the development of biodegradable films that support sustainable food packaging innovation.

PENDAHULUAN

Isu keberlanjutan lingkungan yang semakin mendesak terutama akibat akumulasi limbah plastik sintesis yang sulit terurai dan dapat mencemari ekosistem, telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan material alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam sistem pengemasan pangan. Penggunaan bahan kemasan yang ramah lingkungan telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi pangan modern (Chowdhury *et al.*, 2017; Guerrero & de la Caba, 2017; Janjarasskul & Tananuwong, 2019). Pengembangan material kemasan berbahan alami ini tidak hanya menjawab tantangan keberlanjutan, tetapi juga berpotensi meningkatkan nilai tambah produk pangan serta dapat memperpanjang masa simpan tanpa bergantung pada kemasan berbahan dasar plastik sintesis (Kumar *et al.*, 2022). Data dari United Nations Environment Programme (UNEP, 2021) menunjukkan bahwa sekitar 36% dari total produksi plastik global digunakan untuk pengemasan dan sebagian

besar tidak terdaur ulang dengan baik. Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah pemanfaatan film biodegradable berbasis bahan alami terutama dari sumber protein (Chen *et al.*, 2019).

Whey protein merupakan hasil samping dari proses pembuatan keju yang memiliki kandungan protein, mudah dicerna serta tersedia dalam jumlah melimpah dengan biaya yang relatif murah sehingga menjadikannya bahan potensial dalam berbagai aplikasi produk pangan (de Castro *et al.*, 2017; Minj & Anand, 2020; Yiğit *et al.*, 2023). Potensi ini menjadikan whey protein sebagai kandidat utama dalam formulasi edible film yang dapat menggantikan kemasan sintesis konvensional (Maruddin *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pemanfaatan whey protein dalam pengembangan kemasan pangan biodegradable tidak hanya menjawab tantangan lingkungan, tetapi juga membuka peluang inovasi dalam industri pengemasan yang berkelanjutan.

Pemahaman potensi whey protein sebagai bahan dasar edible film secara lebih mendalam diperlukan pendekatan karakterisasi

mikro yang akurat. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan teknik yang mampu menggambarkan morfologi permukaan dan struktur mikroskopik suatu material (Septiano *et al.*, 2021). Analisis ini dapat melihat partikel, porositas dan agregasi molekul protein yang nantinya akan mempengaruhi kelarutan, difusi uap air dan kekuatan mekanik edible film. Sementara itu, *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) digunakan untuk menganalisis komposisi uncur atau elemental yang berkontribusi terhadap interaksi antarmolekul dan fungsi struktural protein. Beberapa studi sebelumnya telah berhasil menghubungkan hasil karakterisasi SEM-EDS berbasis protein dan polisakarida (Tyuftin *et al.*, 2020), namun kajian secara khusus yang secara komprehensif mengaitkan karakterisasi mikrostruktur dan komposisi elemental whey protein dalam konteks pembentukan edible film masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengisi kesenjangan ini. Oleh karena itu, karakterisasi mikrostruktur dan kandungan unsur whey protein menjadi langkah penting dalam menilai kelayakannya sebagai bahan dasar edible film biodegradable.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mikrostruktur dan komposisi elemental whey protein menggunakan teknik *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) serta mengevaluasi keterkaitannya dengan potensi whey protein sebagai bahan dasar film biodegradable.

METODE

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Mataram dan Laboratorium Terpadu, Universitas Islam Negeri Mataram.

Variabel Penelitian

Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah mikrostruktur dengan menggunakan SEM dan profil elemental menggunakan EDS.

Mikrostruktur Whey Protein

Struktur mikro permukaan film diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM JEOL JCM-7000, Jepang). Spesimen film ditempatkan pada potongan aluminium silinder dengan menggunakan pita perekat karbon dua sisi dan disepuh dengan lapisan tipis emas. Pengujian dilakukan pada 5 kV.

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

Edible film dipotong kecil-kecil agar dapat masuk ke dalam ruang SEM, memastikan bahwa permukaan sampel rata dan bebas dari kontaminasi untuk mendapatkan hasil yang akurat. Selanjutnya, sampel diposisikan di dalam ruang SEM, di mana pengamatan dilakukan untuk mendapatkan morfologi permukaan film yang dapat dimakan. Selanjutnya, daerah tertentu dari permukaan film dipilih untuk analisis lebih lanjut menggunakan EDS. Proses pengukuran EDS dimulai dengan aktivasi detektor EDS pada SEM, diikuti dengan pemfokusan berkas elektron pada area yang dipilih. Selanjutnya, detektor EDS mengkuantifikasi energi sinar-X yang dipancarkan dari sampel saat berkas elektron berinteraksi dengan atom-atom di dalam material. Data sinar-X yang terdeteksi diubah menjadi spektrum yang menampilkan puncak energi yang sesuai dengan elemen tertentu dalam sampel. Spektrum ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi elemen yang ada berdasarkan posisi puncak energi, dan kuantifikasi elemen dilakukan dengan membandingkan intensitas puncak yang dihasilkan (Newbury & Ritchie, 2014).

Analisis Data

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, data yang diperoleh dari hasil

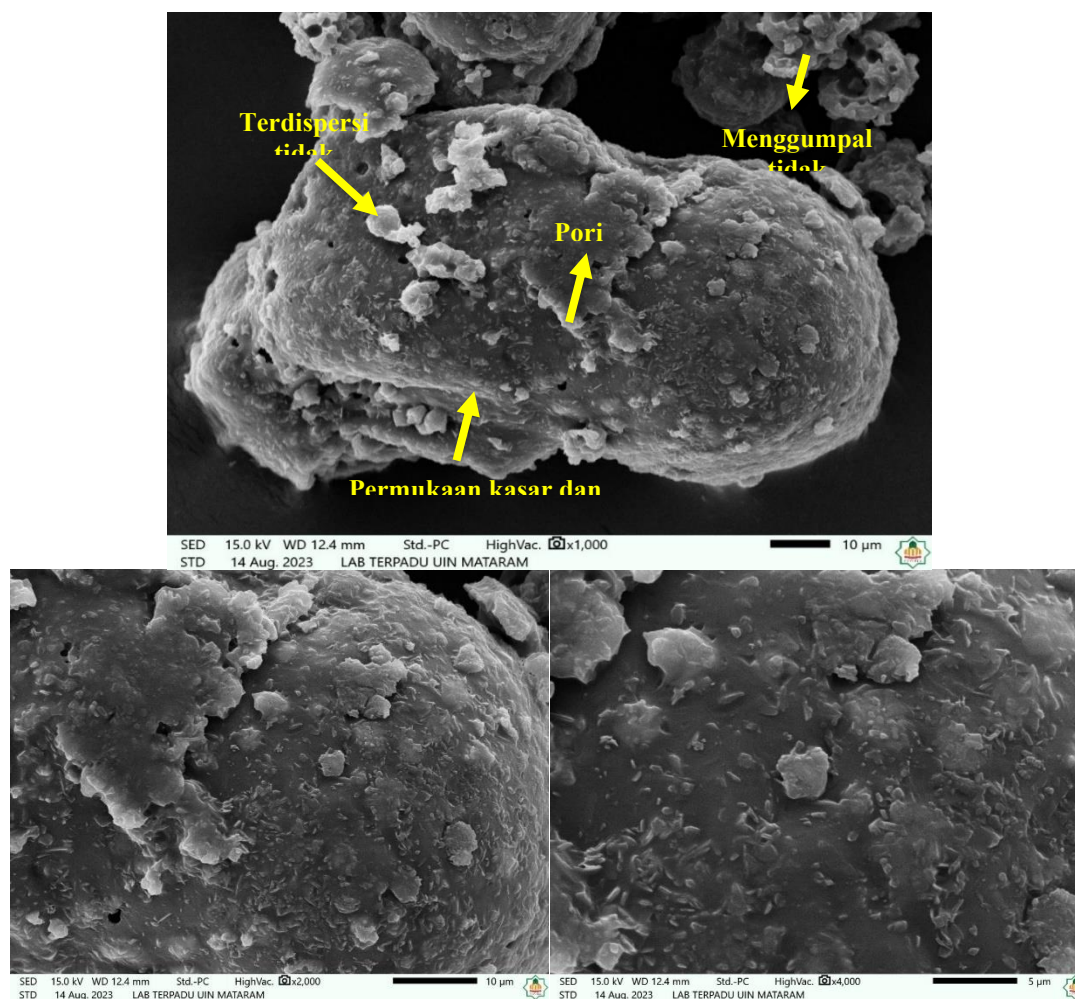
pengujian dianalisis secara deskriptif, yaitu dengan menggambarkan dan menginterpretasikan hasil pengamatan melalui rata-rata, standar deviasi, atau presentase tanpa melakukan pengujian statistik inferensial. Pendekatan deskriptif ini digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh parameter yang diamati, serta untuk mendukung interpretasi ilmiah terhadap fenomena yang terjadi selama proses penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikrostruktur Whey Protein

Pengujian mikrostruktur whey protein dilakukan untuk mengamati karakteristik morfologinya, yang hasilnya disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1. menunjukkan bahwa partikel whey protein memiliki morfologi yang tidak beraturan dengan bentuk cenderung menggumpal (agregat). Agregasi ini menandakan bahwa terjadi koagulasi antar molekul protein selama proses pengolahan, seperti proses pengeringan ataupun pemanasan. Permukaan partikel terlihat kasar dan bergelombang, menandakan bahwa protein telah mengalami perubahan struktural seperti denaturasi selama proses pengeringan. Tekstur yang kasar ini juga dapat menunjukkan keberadaan sisa-sisa senyawa non protein atau kristal kecil yang melekat, seperti mineral atau komponen pelarut yang tidak sepenuhnya menguap. Selain itu juga, terdapat pori-pori kecil pada permukaan partikel, menunjukkan bahwa struktur whey



Gambar 1. Mikrostruktur whey protein dengan perbesaran 1000; 2000 dan 4000 kali

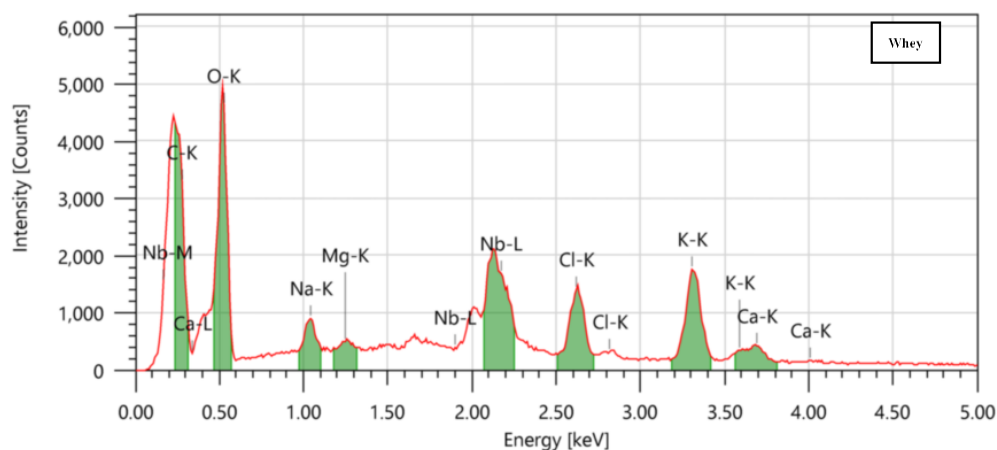
protein bersifat berpori. Porositas ini kemungkinan besar dihasilkan dari penguapan air yang cepat selama proses pengeringan, sehingga meninggalkan rongga dalam matriks protein. Kehadiran dari pori-pori ini dapat memberikan keuntungan fungsional terutama dalam pengaplikasian whey protein sebagai bahan dasar film dikarenakan dapat meningkatkan luas permukaan dan reaktivitas. Namun perlu diperhatikan juga, bahwa pori-pori dan agregasi yang besar dapat mengurangi homogenitas dan kestabilan ketika whey protein dilarutkan kembali dalam medium cair.

Distribusi ukuran partikel tampak tidak seragam, dengan partikel kecil menempel pada partikel besar yang lebih dominan. Ketidakteraturan ini menunjukkan bahwa whey protein memiliki polidispersitas ukuran yang dapat mempengaruhi sifat fisikokimiawi seperti solubilitas, daya larut dan kemampuan emulsifikasi. Meskipun permukaan yang kasar dan berpori cenderung meningkatkan kelarutan dikarenakan dapat memperluas permukaan kontak dengan air, adanya agregasi besar juga bisa menurunkan laju pelarutan dan menghambat dispersibilitas protein. Sifat berpori dan tidak homogen pada struktur juga dapat mempengaruhi kemampuan difusi gas dan air, yang menjadi parameter terpenting dalam bahan pengemasan (Totosa *et al.*, 2022). Struktur berpori dapat menurunkan ketahanan terhadap transmisi uap air (*water vapor transmission rate*). Secara keseluruhan,

karakteristik mikrostruktur whey protein pada Gambar 1. menunjukkan bahwa bahan ini memiliki potensi tinggi untuk dapat digunakan sebagai material dasar dalam formulasi edible film ataupun sistem penghantaran zat aktif. Struktur permukaan yang kompleks, agregasi moderat serta porositas menjadikan whey protein cukup fleksibel untuk dimodifikasi lebih lanjut dengan penambahan plasticizer (Chen *et al.*, 2024), senyawa antioksidan (Singh *et al.*, 2022), senyawa antimikroba (Carpena *et al.*, 2021; Ribeiro-Santos *et al.*, 2017) guna meningkatkan sifat mekanis dan fungsional sesuai dengan kebutuhan aplikasi produk pangan yang biodegradable. Mekanisme protein whey dikatakan berpotensi biodegradable dikarenakan whey mengandung bahan organik alami (air, protein, laktosa, sedikit lemak serta mineral) yang dimana semua komponen ini dapat dikenali dan diproses oleh berbagai mikroorganisme yang ada di lingkungan. Komponen protein dalam whey terdiri dari rantai panjang asam amino yang memiliki gugus fungsional $-NH_2$ dan $-COOH$ yang melimpah, gugus-gugus ini sangat rentan terhadap serangan enzimatik oleh mikroba (Gerna *et al.*, 2023).

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)

EDS adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur bahan. Analisis ini dilakukan untuk mendeteksi perubahan pada gugus fungsional



Gambar 2. Analisis EDS yang dilakukan pada bahan whey protein

Tabel 1. Elemen whey protein

Elemen	Massa (%)	Atom (%)
C	20,55±0,35	30,58±0,51
O	50,93±0,86	56,89±0,96
Na	2,91±0,15	2,26±0,12
Mg	0,55±0,06	0,41±0,05
Cl	5,70±0,17	2,88±0,08
K	10,29±0,26	4,70±0,12
Ca	2,16±0,13	0,96±0,06
Nb	6,90±0,25	1,33±0,05
Total	100	100

yang terdapat dalam suatu bahan atau matriks yang terbentuk (Handayani & Nurzanah, 2018). Hasil analisis elemental (Gambar 2) menunjukkan adanya beberapa unsur dalam bahan whey protein.

Gambar 2. menunjukkan dominasi unsur karbon (C) dan oksigen (O) yang merupakan unsur utama penyusun struktur organik pada protein. Keberadaan unsur C dan unsur O dalam intensitas tinggi mencerminkan struktur dasar dari protein yang terdiri atas rantai polipeptida dengan gugus amina ($-\text{NH}_2$), karboksil ($-\text{COOH}$) dan gugus hidroksil ($-\text{OH}$). Kandungan oksigen yang tinggi juga menunjukkan bahwa whey protein memiliki sifat hidrofilik yang kuat, penting dalam proses pembentukan film berbasis air dan interaksi dengan senyawa polar lainnya (*plasticizer* atau senyawa bioaktif).

Kehadiran unsur-unsur anorganik seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K) dan klorida (Cl) dalam jumlah lebih rendah mengindikasikan bahwa whey protein tidak sepenuhnya murni secara organik, melainkan masih mengandung sisa-sisa mineral yang berasal dari bahan baku susu atau dari proses produksi. Unsur mineral ini memiliki kontribusi penting terhadap stabilitas struktur dan pembentukan jaringan protein melalui mekanisme jembatan ionik antar gugus bermuatan. Hal ini secara tidak langsung menjelaskan terbentuknya agregat besar yang terindikasi pada pengujian SEM (Gambar 1). Di sisi lain keberadaan unsur

logam dalam jumlah kecil juga dapat memberikan keuntungan tersendiri terhadap stabilitas struktural edible film, sebagai contoh Ca dan Mg selain berfungsi dalam pembentukan jaringan molekul protein juga memiliki peran sebagai kofaktor dalam mempertahankan kestabilan protein saat terkena fluktuasi suhu dan pH. Gambar 2 juga memperlihatkan kemunculan unsur niobium (Nb), keberadaan unsur ini kemungkinan besar merupakan substrat atau sisa bahan dari proses preparasi sampel (*holder* logam atau *coating* misalnya *sputter coating* logam konduktif) dan tidak berkaitan langsung dengan karakteristik whey protein itu sendiri.

Secara umum, hasil SEM dan EDS menunjukkan kompatibilitas whey protein sebagai bahan film biodegradable. Struktur berpori dan kasar (SEM) memberikan keuntungan dalam hal luas permukaan dan interaksi molekuler, sedangkan komposisi unsur (EDS), terutama kandungan C dan O yang tinggi, mendukung pembentukan film yang fleksibel dan reaktif secara kimia. Mineral yang ada juga berperan sebagai penstabil jaringan protein. Secara keseluruhan, terdapat korelasi kuat antara mikrostruktur whey protein dengan komposisi elementalnya. Struktur permukaan yang terbentuk (kasar, berpori, dan agregatif) dipengaruhi oleh keberadaan unsur-unsur tertentu, terutama mineral dan oksigen. Hubungan ini sangat penting untuk memahami sifat fungsional whey protein dalam aplikasinya sebagai

material film biodegradable, dan dapat menjadi dasar untuk modifikasi formulasi yang lebih optimal. Implikasi komposisi whey terhadap aplikasi film berperan penting dalam menentukan sifat film biodegradable, seperti fleksibilitas, adhesi, dan ketahanan air. Interaksi antarmolekul yang kuat menjadikan film whey kaku dan rapuh, namun dapat dilunakkan dengan penambahan plasticizer (Fahrullah *et al.* 2020; 2022). Sifat polar gugus tersebut meningkatkan daya rekat pada permukaan lain, sedangkan sifat hidrofilitiknya menurunkan ketahanan air, sehingga perlu modifikasi kimia atau pencampuran dengan polimer hidrofobik untuk memperbaikinya (Fahrullah *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa whey protein memiliki struktur mikro yang tidak beraturan, berpori, dan membentuk agregat, yang mendukung sifat fungsionalnya sebagai bahan dasar film biodegradable. Kandungan unsur dominan karbon (C) dan oksigen (O) menegaskan sifat organiknya, sementara keberadaan mineral seperti natrium, kalium, kalsium, dan magnesium berperan dalam stabilitas dan pembentukan jaringan film melalui ikatan ionik. Temuan ini menunjukkan bahwa whey protein berpotensi tinggi untuk dikembangkan sebagai bahan kemasan pangan ramah lingkungan yang mendukung keberlanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRTPM Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Penelitian Fundamental-Reguler dengan nomor hibah 134/E5/PG.02.00.PL/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Carpena, M., Nuñez-Estevez, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P., & Prieto, M. A. (2021). Essential oils and their application on active packaging systems: A review. *Resources*, 10 (1), 7.
- 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.
- Chen, Y., Wang, J., Xu, L., Nie, Y., Ye, Y., Qian, J., Liu, F., & Zhang, L. (2024). Effects of different plasticizers on the structure, physical properties and film forming performance of curdled edible films. *Foods*, 13 (23), 3930.
- Chowdhury, S. N., Nag, S., Ashish, & Tripathi, K. M. (2017). Recent advances in bio-polymers for innovative food packaging. In Mishra, A.K., Hussain, C.M., & Mishra, S.B., editor. *Biopolymers: Structure, Performance and Applications*. New York: Nova Science Publishers
- de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14.
- 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), 519–528.
- 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, 226–233.
- 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.
- Gerna, S., D’Incecco, P., Limbo, S., Sindaco, M., & Pellegrino, L. (2023). Strategies for exploiting milk protein properties in making films and coatings for food packaging: A Review. *Foods*, 12(6), 1271.
- Guerrero, P., & de la Caba, K. (2017). Protein-based films and coatings. *Edible Food Packaging: Materials and Processing Technologies*. Boca Raton: CRC Press.
- Handayani, R., & Nurzanah, H. (2018). Karakteristik edible film pati talas dengan penambahan antimikroba dari minyak atsiri lengkuas. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1), 1-11.
- Janjarasskul, T., & Tananuwong, K. (2019). Role of whey proteins in food packaging. In Smithers, G., editor. *Reference Module in Food Science*. Elsevier.
- Kumar, A., Hasan, M., Mangaraj, S., M, P., Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2022). Trends in edible packaging films and its prospective future in food: A Review. *Applied Food Research*, 2 (1), 100118.
- Maruddin, F., Ratmawati, R., Fahrullah, F., & Taufik, M. (2018). Karakteristik edible film berbahan whey dangke dengan penambahan karagenan. *Jurnal Veteriner*, 19 (2), 291-297.
- Minj, S., & Anand, S. (2020). Whey proteins and its derivatives: Bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy*, 1 (3), 233-258.
- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. M. (2014). Performing elemental microanalysis with high accuracy and high precision by scanning electron microscopy/silicon drift detector energy-dispersive X-ray spectrometry (SEM/SDD-EDS). *Journal of Materials Science*, 50 (2), 493-518.
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N. R. de, & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 61, 132-140.
- Septiano, A. F., Susilo, S., & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis citra hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) komposit resin timbal dengan metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44 (2), 81-85.
- Singh, A. K., Kim, J. Y., & Lee, Y. S. (2022). Phenolic compounds in active packaging and edible films/coatings: natural bioactive molecules and novel packaging ingredients. *Molecules*, 27 (21), 7513.
- Totosaus, A., Godoy, I., & Ariza-Ortega, T. J. (2022). Physical, barrier, and thermal properties characterization of edible films from composite mixtures of starch and starch derivatives. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, 46 (2), 175-187.
- Tyufin, A. A., Wang, L., Auty, M. A. E., & Kerry, J. P. (2020). Development and assessment of duplex and triplex laminated edible films using whey protein isolate, gelatin and sodium alginate. *International Journal of Molecular Sciences*, 21 (7), 2486.
- Yigit, A., Bielska, P., Cais-Sokolińska, D., & Samur, G. (2023). Whey proteins as a

functional food: Health effects, functional properties, and applications in food. In

Journal of the American Nutrition Association, 42 (8), 758-768.