

Mechanical Properties of Whey–Pectin Edible Films: The Role of Plasticizer Type

Fahrullah Fahrullah^{1*}, Rabyatul Auliah¹, Wahid Yulianto¹, Baiq Rani Dewi Wulandani¹, Bulkaini¹, Djoko Kisworo¹, Sukirno¹

¹Department of Animal Science, University of Mataram, Mataram, Mataram 83125, NTB, Indonesia;

Article History

Received : April 05th, 2026

Revised : May 15th, 2026

Accepted : May 23th, 2026

*Corresponding Author:

Fahrullah Fahrullah,
Department of Animal Science,
University of Mataram,
Mataram, Mataram 83125,
NTB, Indonesia;
Email: fahrullah@unram.ac.id

Abstract: Whey protein has been identified as a potential film-forming material; however, its mechanical properties are limited. The objective of this study is to ascertain the impact of plasticizer type on the mechanical properties of edible films composed of whey-pectin. This study employed a completely randomized design (CRD) with three replications. The treatments consisted of three types of plasticizers, namely sorbitol, glycerol, and polyethylene glycol. The obtained data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), and when significant differences were observed, Duncan's Multiple Range Test (DMRT) was subsequently applied. The findings demonstrated that the type of plasticizer exerted a negligible influence ($P > 0.05$) on film thickness, which ranged from 0.15 to 0.16 mm. However, the type of plasticizer had a significant effect ($P < 0.05$) on tensile strength and elongation. The highest tensile strength was obtained with sorbitol, whereas the highest elongation was obtained with polyethylene glycol. The findings of this study suggest the existence of a trade-off relationship between tensile strength and elongation. Sorbitol has been demonstrated to produce a strong film, while polyethylene glycol has been shown to enhance flexibility.

Keywords: Edible Film; Elongation; Plasticizer; Tensile Strength.

Pendahuluan

Peningkatan kesadaran global terhadap keberlanjutan lingkungan dan keamanan pangan mendorong perkembangan teknologi kemasan ramah lingkungan, salah satunya edible film berbasis biopolimer. Penggunaan plastik sintesis konvensional yang sulit terdegradasi telah menimbulkan akumulasi limbah yang berdampak negatif terhadap ekosistem sehingga diperlukan alternatif kemasan yang biodegradable, aman, dan mampu mempertahankan mutu pangan. Edible film menjadi salah satu inovasi yang potensial karena dapat terurai secara alami serta berfungsi sebagai lapisan pelindung yang mampu menghambat kerusakan produk pangan selama penyimpanan (Abdullah *et al.*, 2022; Pires *et al.*, 2024). Selain itu, edible film juga dapat dimanfaatkan sebagai matriks pembawa senyawa aktif untuk meningkatkan stabilitas

dan umur simpan produk pangan.

Salah satu biopolimer yang banyak dikembangkan dalam pembuatan edible film adalah whey protein. Whey protein memiliki kemampuan pembentukan film yang baik, transparansi tinggi, serta sifat barrier terhadap oksigen yang efektif sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai bahan kemasan pangan (Abdelhedi *et al.*, 2018; Adilah *et al.*, 2018). Namun demikian, film berbasis whey protein memiliki kelemahan berupa sifat mekanik yang relatif rapuh dan kurang fleksibel akibat tingginya interaksi antarmolekul protein dalam matriks film (Azevedo *et al.*, 2015; Calva-Estrada *et al.*, 2019). Untuk mengatasi kelemahan tersebut, pengembangan sistem film komposit melalui kombinasi protein dan polisakarida menjadi pendekatan yang banyak diteliti. Pektin sebagai polisakarida hidrofilik diketahui mampu berinteraksi dengan whey protein melalui ikatan elektrostatik dan

hidrogen sehingga dapat meningkatkan stabilitas struktur film dan memperbaiki karakteristik fungsionalnya (Im *et al.*, 2023; Nikbakht *et al.*, 2025). Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa film komposit whey-pektin memiliki potensi dalam meningkatkan stabilitas termal, sifat barrier, dan kualitas kemasan biodegradable (Urango *et al.*, 2025).

Meskipun demikian, pengembangan edible film whey-pektin masih menghadapi beberapa permasalahan, terutama terkait sifat mekanik film. Film yang memiliki kekuatan tarik tinggi umumnya menunjukkan elongasi yang rendah, sedangkan peningkatan fleksibilitas sering kali menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Kondisi tersebut menunjukkan adanya trade-off antara tensile strength dan elongation yang masih menjadi tantangan utama dalam formulasi edible film komposit. Salah satu faktor penting yang memengaruhi sifat mekanik edible film adalah penggunaan pemlastis. Pemlastis merupakan senyawa dengan berat molekul rendah yang mampu meningkatkan fleksibilitas film melalui penurunan gaya intermolekuler dan peningkatan mobilitas rantai polimer (Kaewprachu *et al.*, 2018). Berbagai penelitian mengenai pemlastis pada edible film telah dilakukan, namun sebagian besar masih berfokus pada sistem polimer tunggal dan belum banyak mengkaji pengaruh jenis pemlastis terhadap interaksi kompleks dalam sistem komposit whey-pektin. Oleh karena itu, informasi mengenai kemampuan berbagai jenis pemlastis dalam menghasilkan keseimbangan sifat mekanik pada edible film whey-pektin masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pengkajian pengaruh perbedaan jenis pemlastis terhadap sifat mekanik edible film berbasis whey-pektin sebagai sistem film komposit protein-polisakarida. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman mengenai interaksi antara matriks whey-pektin dan pemlastis dalam membentuk karakteristik mekanik film yang lebih optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis pemlastis terhadap tensile strength dan elongation edible film whey-pektin. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan edible film biodegradable

dengan sifat mekanik yang lebih seimbang sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai kemasan pangan ramah lingkungan di masa mendatang.

Bahan dan Metode

Materi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah protein whey, pektin, akuades, gliserol, sorbitol, polietilen glikol, dan silica gel. Perlatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, *Universal Testing Machine*, erlenmeyer, magnetic stirrer, thermometer, gelas ukur, mikrometer sekrup dan cawan petri.

Preparasi Pembuatan Edible Film

Film whey dibuat menggunakan metode pencetakan (*casting*). Whey terlebih dahulu dicampur dengan akuades, kemudian dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer dan dipanaskan dengan hot plate stirrer. Untuk meningkatkan sifat mekanik film, ditambahkan pemlastis (gliserol, sorbitol dan polietilen glikol) sebanyak 15% (b/b) sebagai plasticizer, kemudian campuran dipanaskan kembali pada suhu 45°C selama 15 menit. Larutan yang telah homogen selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri dan diratakan melalui proses pencetakan. Setelah dikeringkan, film disimpan dalam desikator pada suhu ruang selama 2 hari sebelum dilakukan analisis lanjutan (Fahrullah *et al.*, 2020).

Ketebalan Film

Ketebalan film berbasis whey-pektin diukur menggunakan *micrometer scrup* dengan tingkat ketelitian 0,01 mm. Ketebalan diukur pada lima titik berbeda yang dipilih secara acak pada setiap sampel film.

Kekuatan Tarik dan Elongasi Film

Pengujian kekuatan tarik dan elongasi film dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan mengacu pada standar ASTM (2018). Pengujian diawali dengan pengukuran dimensi spesimen meliputi ketebalan, lebar, dan panjang ukur untuk menentukan luas penampang. Selanjutnya, sistem kelistrikan dan mesin UTM diaktifkan serta dipanaskan selama ± 15 menit. Data

spesimen kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak UTM, dilanjutkan dengan pemasangan spesimen pada grip mesin dan kalibrasi menggunakan opsi “Zero all”. Pengujian dilakukan dengan menjalankan mesin hingga spesimen putus. Setelah pengujian selesai, data berupa beban maksimum, elongasi, dan grafik tegangan-regangan ditampilkan dan disimpan. Tahap akhir dilakukan dengan melepaskan spesimen dan mematikan seluruh perangkat sesuai prosedur.

Hasil dan Pembahasan

Ketebalan Film

Tabel 1 menunjukkan hasil penelitian tentang pengaruh jenis pemlastis terhadap ketebalan film. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pengaruh jenis pemlastis yang berbeda tidak memberikan pengaruh yang nyata ($P>0,05$) terhadap ketebalan film whey-pektin. Ketebalan film yang dihasilkan adalah 0,15-0,16 mm yang mengindikasikan ketebalan film seragam. Hal ini dikarenakan pemberian konsentrasi pemlastis dalam jumlah yang sama pada setiap perlakuan, selain itu juga proses pencetakan yang seragam sehingga menyebabkan ketebalan film yang dihasilkan relatif sama pada setiap perlakuan. Sanyang *et al.*, (2016) melaporkan bahwa variasi jenis pemlastis dengan konsentrasi yang sama dalam film tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap ketebalan dikarenakan parameter tersebut lebih dipengaruhi oleh total padatan dan volume larutan saat proses pencetakan.

Tabel 1. Ketebalan (mm) film whey-pektin dengan pemlastis yang berbeda

| Perlakuan | Ketebalan (mm) |
|-------------------|----------------|
| Sorbitol | 0,15±0,01 |
| Gliserol | 0,16±0,02 |
| Polietilen Glikol | 0,15±0,01 |

Penggunaan gliserol dan sorbitol pada konsentrasi yang sama tidak menunjukkan perbedaan terhadap ketebalan edible film selama kondisi pengeringan dan metode pencetakan dikontrol secara konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa homogenitas proses produksi memiliki kontribusi dominan dalam menentukan ketebalan film dibandingkan dengan

jenis pemlastis itu sendiri (Zhang *et al.*, 2020). (Kumar *et al.*, 2023) juga melaporkan bahwa ketebalan edible film berbasis pati dan kitosan tidak berbeda nyata pada variasi jenis pemlastis 10-20% selama formulasi total padatan dan teknik pengeringan tidak diubah.

Kekuatan Tarik Film

Tabel 2 menunjukkan hasil penelitian tentang pengaruh jenis pemlastis terhadap kekuatan tarik film. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pengaruh jenis pemlastis yang berbeda memberikan pengaruh yang nyata ($P<0,05$) terhadap kekuatan tarik film whey-pektin. Kekuatan tarik tertinggi pada penggunaan sorbitol menunjukkan bahwa pemlastis ini mampu membentuk interaksi intermolekuler yang lebih kuat terutama melalui ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil pada protein whey dan pektin. Struktur sorbitol yang relatif lebih besar dan memiliki gugus -OH menghasilkan jaringan film yang lebih rapat dan kompak sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap gaya tarik (Bakry *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2020). Pemlastis gliserol menghasilkan nilai kekuatan tarik yang sedikit lebih rendah, hal ini disebabkan oleh ukuran molekul yang lebih kecil sehingga lebih efektif dalam meningkatkan mobilitas rantai polimer, menyebabkan jarak antar rantai meningkat dan gaya kohesi menurun sehingga film menjadi lebih fleksibel namun kekuatan tariknya berkurang (Sartika *et al.*, 2022).

Tabel 2. Kekuatan tarik (Mpa) film whey-pektin dengan pemlastis yang berbeda

| Perlakuan | Kekuatan Tarik (Mpa) |
|-------------------|------------------------|
| Sorbitol | 6,71±0,05 ^a |
| Gliserol | 6,45±0,11 ^b |
| Polietilen Glikol | 6,05±0,06 ^c |

Ket: ^{abc} menunjukkan perbedaan yang nyata ($P<0,05$).

Pemlastis polietilen glikol menunjukkan kekuatan tarik yang paling rendah dibandingkan dengan pemlastis yang lain. Hal ini dikarenakan oleh sifat polietilen glikol yang cenderung memperlemah interaksi antar rantai polimer terutama jika berat molekulnya tinggi. Polietilen glikol dapat meningkatkan jarak antar molekul dan bahkan menyebabkan fase terpisah dalam matriks film sehingga struktur menjadi kurang kompak dan lebih mudah mengalami deformasi (Fahrullah *et al.*, 2024; Šešljija *et al.*, 2018).

Selain itu, peningkatan fleksibilitas akibat pemlastis secara umum memang akan menurunkan kekuatan tarik karena berkurangnya gaya intermolekuler dalam sistem film (Pires *et al.*, 2024).

Elongasi Film

Tabel 3 menunjukkan hasil penelitian tentang pengaruh jenis pemlastis terhadap elongasi film. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pengaruh jenis pemlastis yang berbeda memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$) terhadap elongasi film whey-pektin. Elongasi yang dihasilkan berkisar antara 67,41-69,18%, Pemlastis polietilen glikol paling efektif dalam meningkatkan mobilitas rantai polimer. Polietilen glikol mampu memperbesar jarak antar molekul dan menurunkan gaya ikatan hidrogen dalam matriks whey-pektin, sehingga rantai polimer menjadi lebih bebas bergerak saat diberikan gaya tarik. Kondisi ini menyebabkan film lebih elastis dan mampu mengalami perpanjangan yang lebih besar sebelum putus (Caroline & Pratiwi, 2018; Febrayanti *et al.*, 2024). Secara umum, pemlastis memang bekerja dengan cara mengurangi interaksi intermolekuler dan meningkatkan fleksibilitas struktur film (Chang & Nickerson, 2014; Kaewprachu *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2011).

Tabel 3. Nilai elongasi (%) edible film whey-pektin dengan pemlastis yang berbeda

| Perlakuan | Elongasi (%) |
|-------------------|-------------------------|
| Sorbitol | 67,74±0,05 ^b |
| Gliserol | 67,41±0,49 ^b |
| Polietilen Glikol | 69,18±0,18 ^a |

Ket: ^{abc} menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$).

Pemlastis sorbitol dan gliserol menunjukkan nilai elongation yang relative lebih rendah dan tidak memberikan perbedaan yang nyata. Sorbitol cenderung membentuk ikatan hidrogen yang lebih kuat dengan matriks whey-pektin melalui banyak gugus hidroksil sehingga struktur film menjadi lebih kompak dan sedikit membatasi pergerakan rantai polimer. Di sisi lain, gliserol memiliki ukuran molekul kecil dan dapat meningkatkan fleksibilitas (Fahrullah *et al.*, 2020, 2022, 2024; Marrudin *et al.*, 2017), namun dalam penelitian ini efeknya tidak sebesar polietilen glikol karena distribusi dan

kompatibilitasnya berbeda dalam matriks film (Chen *et al.*, 2024).

Kesimpulan

Jenis pemlastis tidak memberikan pengaruh nyata terhadap ketebalan edible film whey-pektin, dengan nilai yang relatif seragam (0,15–0,16 mm). Namun, jenis pemlastis berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik film. Sorbitol menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, sedangkan polietilen glikol memberikan nilai elongasi tertinggi. Hal ini menunjukkan adanya hubungan trade-off antara kekuatan dan fleksibilitas, di mana peningkatan elastisitas cenderung diikuti penurunan kekuatan tarik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, yang telah memberikan bantuan dana untuk kegiatan penelitian ini melalui skema Program Penelitian Fundamental Reguler dengan nomor kontrak hibah 079/C3/DT.05.00/PL/2025.

Referensi

- Abdelhedi, O., Nasri, R., Mora, L., Jridi, M., Toldrá, F., & Nasri, M. (2018). In silico analysis and molecular docking study of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from smooth-hound viscera protein hydrolysates fractionated by ultrafiltration. *Food Chemistry*, 239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.112>
- Abdullah, Cai, J., Hafeez, M. A., Wang, Q., Farooq, S., Huang, Q., Tian, W., & Xiao, J. (2022). Biopolymer-based functional films for packaging applications: A review. In *Frontiers in Nutrition*, 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000116>
- Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., & Hanani, Z. A. N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable

- films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.027>
- Bakry, N. F., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2017). Effect of sorbitol at different concentrations on the functional properties of gelatin/carboxymethyl cellulose (CMC)/chitosan composite films. *International Food Research Journal*, 24(4).
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2019). Protein-Based Films: Advances in the Development of Biomaterials Applicable to Food Packaging. *Food Engineering Reviews*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09189-w>
- Caroline, C., & Pratiwi, A. R. (2018). Biopreservatif Alami dalam Pembuatan Edible Film Karagenan *Eucheuma cottonii* dengan Polietilen Glikol sebagai Plasticizer. *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 11(02). DOI: <https://doi.org/10.19184/j-agt.v11i02.6523>
- Chang, C., & Nickerson, M. T. (2014). Effect of plasticizer-type and genipin on the mechanical, optical, and water vapor barrier properties of canola protein isolate-based edible films. *European Food Research and Technology*, 238(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2075-x>
- 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 Curdlan Edible Films. *Foods*, 13(23). DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13233930>
- 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*, 34(1): 11–20. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jiip.2024>
- 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. DOI: <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). DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2020.015.01.4>
- Fahrullah, F., Febryanti, F., Anita, C., Basriani, B., Fitri, F., Noersidiq, A., & Maslami, V. (2024). Karakterisasi Edible Film Berbasis Protein: Kajian Ketebalan, Lama Gelasi dan Mikrostruktur Dengan Penambahan Polietilen Glikol. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia*, 10(2), 98–106. DOI: <https://doi.org/10.29303/jitpi.v10i2.213>
- Im, S., Jones, O. G., & Choi, S. J. (2023). Fabrication of Whey Protein Isolate-Pectin Nanoparticles by Thermal Treatment: Effect of Dynamic High-Pressure Treatment. *Foods*, 12(23), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods12234217>
- Kaewprachu, P., Osako, K., & Rawdkuen, S. (2018). Effects of plasticizers on the properties of fish myofibrillar protein film. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3226-7>
- Kumar, N., Pratibha, Prasad, J., Yadav, A., Upadhyay, A., Neeraj, Shukla, S., Petkoska, A. T., Heena, Suri, S., Gniewosz, M., & Kieliszek, M. (2023). Recent Trends in Edible Packaging for Food Applications - Perspective for the Future. In *Food Engineering Reviews*, 15(4). DOI:

- <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09358-y>
- Lim, W. S., Ock, S. Y., Park, G. D., Lee, I. W., Lee, M. H., & Park, H. J. (2020). Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Packaging and Shelf Life*, 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100556>
- Marrudin, F., Ambo, A., Hajrawati, & Muhammad, T. (2017). Karakteristik Edible Film Berbahan Whey dan Kasein yang Menggunakan Jenis Plasticizer Berbeda. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan*, 5(2).
- Nikbath, H., Rajaei, A., & Movahednejad, M. H. (2025). Investigating physical and mechanical properties of edible film based on pectin and whey protein, containing thyme essential oil using Pickering nanoemulsion method. *Journal of Food Science and Technology*, 22(164). DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/FSCT.22.164.132>
- Pires, A. F., Díaz, 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): 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13162638>
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (arenga pinnata) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7>
- Sartika, M., Rambe, F. R., Parinduri, S. Z. D. M., Harahap, H., Nasution, H., Lubis, M., Taslim, & Manurung, R. (2022). Tensile properties of edible films from various types of starch with the addition of glycerol as plasticizer: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1115(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1115/1/012075>
- Šešlija, S., Nešić, A., Ružić, J., Kalagasidis Krušić, M., Veličković, S., Avolio, R., Santagata, G., & Malinconico, M. (2018). Edible blend films of pectin and poly (ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. *Food Hydrocolloids*, 77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.027>
- Urango, A. C. M., Meireles, M. A. A., & Silva, E. K. (2025). Emulsion-structured pectin-based edible films with whey protein and short-chain dietary fibers for geranylgeraniol encapsulation and strawberry preservation. *Food Chemistry: X*, 30: 102913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102913>
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. In *European Polymer Journal*, 47(3). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Zhang, Y., Zhou, L., Zhang, C., Show, P. L., Du, A., Fu, J. C., & Ashokkumar, V. (2020). Preparation and characterization of curdlan/polyvinyl alcohol/ thyme essential oil blending film and its application to chilled meat preservation. *Carbohydrate Polymers*, 247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116670>