

**STUDI KOMPARASI KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK
BIOPLASTIK BERBASIS PROTEIN KEDELAI UNTUK APLIKASI
KEMASAN RAMAH LINGKUNGAN : JURNAL REVIEW**

Farelino Oktavianus Purba¹, Anggi Khairina Hanum Hasibuan², M. Sulthon Nurhermansyah Putra³
farelpurba321@gmail.com¹, anggi.khairina@gmail.com², sulthonp30@gmail.com³
Universitas Pertahanan

Article Info

Article history:

Published April 30, 2026

Kata Kunci:

Bioplastik, Soy Protein Isolate, Protein Kedelai, Sifat Mekanik, Kemasan Ramah Lingkungan.

ABSTRAK

Permasalahan sampah plastik konvensional mendorong pengembangan material kemasan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya bioplastik berbasis sumber hayati. Protein kedelai dalam bentuk *soy protein isolate* (SPI) merupakan biopolimer yang berpotensi digunakan karena memiliki kemampuan pembentukan film yang baik serta dapat dimodifikasi untuk meningkatkan sifatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fisik dan mekanik bioplastik berbasis protein kedelai melalui metode *literature review* terhadap berbagai jurnal ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa penambahan bahan seperti gelatin, sakarosa, microfibrillated cellulose (MFC), organosolv softwood powder (OSP), serta ekstrak alami seperti *chestnut bur extract* (CBE) dan *mango kernel extract* (MKE) dapat meningkatkan sifat mekanik, kekuatan tarik, dan stabilitas material melalui interaksi molekuler dan proses *crosslinking*. Selain itu, penambahan ekstrak alami juga memberikan aktivitas antioksidan pada film bioplastik. Dengan demikian, bioplastik berbasis protein kedelai berpotensi dikembangkan sebagai material kemasan pangan yang biodegradable dan ramah lingkungan.

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah plastik, khususnya dari produk kemasan sekali pakai, masih menjadi isu lingkungan yang serius di Indonesia. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia menghasilkan sekitar 68,5 juta ton sampah pada tahun 2021, di mana sekitar 17% di antaranya merupakan sampah plastik. Selain itu, laporan dari National Plastic Action Partnership (NPAP) menunjukkan bahwa Indonesia menghasilkan sekitar 6,8 juta ton sampah plastik setiap tahunnya, dan sebagian di antaranya berpotensi mencemari lingkungan perairan seperti sungai dan laut. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan kontribusi sampah plastik laut yang signifikan di dunia. Permasalahan tersebut mendorong kebutuhan akan alternatif material kemasan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, salah satunya melalui pengembangan bioplastik berbasis sumber hayati.

Salah satu material yang banyak dikaji dalam pengembangan bioplastik adalah protein kedelai (*soy protein*), khususnya dalam bentuk *soy protein isolate* (SPI). Protein kedelai memiliki kemampuan pembentukan film (*film-forming*) yang baik sehingga berpotensi

digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material kemasan biodegradable. Selain itu, struktur protein yang tersusun dari berbagai asam amino polar dan nonpolar memungkinkan terjadinya berbagai interaksi molekuler yang kompleks, seperti ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, serta pembentukan jaringan polimer melalui proses crosslinking. Interaksi tersebut berperan penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik bioplastik, seperti kekuatan tarik, elastisitas, serta stabilitas material terhadap lingkungan.

Dalam beberapa penelitian, bioplastik berbasis protein kedelai sering dimodifikasi melalui penambahan plasticizer, bahan penguat, maupun agen pengikat silang untuk meningkatkan performa material. Selain itu, berbagai metode pemrosesan dapat digunakan untuk menghasilkan bioplastik berbasis protein kedelai dengan karakteristik yang berbeda-beda, seperti pencetakan kompresi, pencetakan injeksi, ekstrusi, serta teknik pencetakan lainnya yang dapat memengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material yang dihasilkan (E. Álvarez,2021). Oleh karena itu, pemilihan komposisi bahan dan metode pemrosesan menjadi faktor penting dalam menentukan sifat akhir bioplastik yang dihasilkan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi pemrosesan dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik material. Delgado et al. (2018) melaporkan bahwa peningkatan suhu pada proses pencetakan injeksi dari 80 °C menjadi 120 °C dapat meningkatkan modulus Young film protein dari 22,5 MPa menjadi 28,1 MPa, sekaligus menurunkan kapasitas penyerapan air dari 177,4% menjadi 144,6% (M. Delgado,2018). Perubahan ini berkaitan dengan meningkatnya interaksi antarmolekul protein yang dipicu oleh suhu tinggi melalui fenomena agregasi dan gelasi yang diinduksi panas, yang berperan dalam memperkuat struktur material (M. Alonso-González,2021).

Meskipun demikian, bioplastik berbasis protein kedelai masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama terkait sensitivitas terhadap air serta keterbatasan sifat mekanik tertentu. Untuk mengatasi hal tersebut, berbagai strategi telah dikembangkan, seperti penambahan plasticizer, agen crosslinking, maupun pencampuran dengan biopolimer lain guna meningkatkan stabilitas struktur dan performa mekanik material. Oleh karena itu, diperlukan kajian literatur yang secara khusus membandingkan karakteristik fisik dan mekanik bioplastik berbasis protein kedelai dari berbagai penelitian yang telah dilakukan. Melalui pendekatan komparatif ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi dan keterbatasan material tersebut dalam pengembangan kemasan ramah lingkungan yang berkelanjutan.

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang dalam menyusun artikel ini adalah metode penelitian *Literature Review*. Metode penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari berbagai literatur dan berbagai referensi seperti membaca dari buku, jurnal ilmiah, dan sumber dari internet yang masih berkaitan dengan topik yang diambil. Literatur ini banyak membahas rangkuman dan ulasan dari beberapa sumber yang diambil yaitu membahas Studi Komparasi Karakteristik Fisik dan Mekanik Bioplastik Berbasis Protein Kedelai untuk Aplikasi Kemasan Ramah Lingkungan : Jurnal Review.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi oleh Granados-Carrera et al. (2024) mengembangkan bioplastik berbasis soy protein isolate (SPI) sebagai matriks utama dengan penambahan gelatin dan sakarosa sebagai biopolimer penguat serta gliserol sebagai plasticizer (C. M. Granados-Carrera, 2025). Selain itu, beberapa pendekatan penguatan dilakukan melalui crosslinking kimia menggunakan glyoxal, crosslinking enzimatik menggunakan transglutaminase, serta perlakuan panas (thermal treatment) untuk meningkatkan interaksi antar rantai protein.

Proses pembuatan bioplastik dilakukan menggunakan metode injection moulding, yang diawali dengan tahap pencampuran bahan menggunakan rheometer mixer dua bilah berputar berlawanan arah pada kecepatan sekitar 50 rpm selama 10 menit pada suhu awal sekitar 25 °C hingga diperoleh campuran homogen. Campuran tersebut kemudian diproses menggunakan sistem MiniJet piston injection moulding, di mana material ditempatkan dalam ruang silinder sekitar 40 °C dan diinjeksikan ke dalam cetakan pada suhu sekitar 90 °C dengan tekanan tinggi untuk membentuk sampel bioplastik berukuran 60 × 10 × 1 mm³ (M. Jiménez-Rosado,2022).

Hasil analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) menunjukkan bahwa seluruh sampel bioplastik memiliki karakteristik pita serapan khas protein. Pita pada 3500–3000 cm⁻¹ menunjukkan peregangan gugus N–H dan O–H, sedangkan pita pada 2928 dan 2876 cm⁻¹ berkaitan dengan peregangan CH₂ pada rantai protein. Selain itu, pita pada 1628, 1550, dan 1228 cm⁻¹ menunjukkan keberadaan amide I, amide II, dan amide III yang merupakan karakteristik struktur protein (Türker-Kaya & Huck, 2017). Intensitas pita amida meningkat pada sampel yang mengalami perlakuan panas pada 120 °C, yang menunjukkan terjadinya modifikasi kimia serta peningkatan interaksi antar molekul protein selama proses pembentukan bioplastik (Jiménez-Rosado et al., 2022). Selain itu, pita serapan lain pada 1393 cm⁻¹ dan 1100–974 cm⁻¹ dikaitkan dengan vibrasi gugus CH₂ dan C–O–C pada struktur polimer(V. Perez-Puyana,2022).

Pengujian sifat mekanik melalui dynamic flexure test dan tensile test menunjukkan bahwa sebagian besar sistem memiliki karakter dominan padat dengan nilai modulus elastis (E') lebih besar dibandingkan modulus viskos (E''). Penambahan gelatin cenderung menurunkan nilai strain kritis dan elastisitas material, sedangkan penambahan agen crosslinking seperti glyoxal maupun perlakuan panas meningkatkan kekakuan bioplastik akibat terbentuknya jaringan ikatan silang antar rantai protein. Pada uji tarik, kurva tegangan–regangan menunjukkan fase elastik linear yang diikuti oleh deformasi plastis hingga terjadi patahan material. Secara umum, penambahan bahan penguat meningkatkan modulus Young dan kekuatan tarik, namun menurunkan strain at break, yang menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan material terjadi bersamaan dengan berkurangnya kemampuan deformasi (J. Y. Boey,2022). Fenomena serupa juga dilaporkan pada bioplastik berbasis protein lainnya, di mana ketidakhomogenan struktur akibat penambahan biopolimer dapat meningkatkan kekuatan tetapi menurunkan elongasi material (L. Wang,2022).

Pengujian sifat interaksi dengan air menunjukkan bahwa bioplastik berbasis SPI memiliki sifat hidrofilik moderat dengan nilai water contact angle kurang dari 57°, yang menunjukkan kecenderungan material untuk berinteraksi dengan air. Sifat ini dapat menguntungkan dalam aplikasi tertentu seperti kemasan makanan segar atau pelapis pada produk pangan dan pertanian. Pengujian water uptake capacity menunjukkan bahwa penambahan bahan penguat umumnya menurunkan kemampuan penyerapan air akibat terbentuknya struktur matriks yang lebih kaku dan rapat. Selain itu, peningkatan kandungan gelatin atau gula dapat memodifikasi sifat hidrofilitas dan struktur jaringan polimer sehingga memengaruhi kapasitas penyerapan air material. Uji biodegradabilitas menunjukkan bahwa sampel bioplastik mengalami degradasi signifikan setelah sekitar 20 hari dalam kondisi penguburan tanah, yang ditandai dengan penurunan ketebalan dan berat material. Peningkatan konsentrasi gelatin juga mempercepat laju degradasi karena struktur material menjadi lebih heterogen dan lebih mudah diserang mikroorganisme (W. Liang,2022).

Studi oleh Tetiana et al. (2024) mengembangkan bioplastik berbasis soy protein isolate (SPI) dan zein sebagai matriks protein dengan penambahan microfibrillated cellulose (MFC) dan organosolv softwood powder (OSP) sebagai bahan penguat, serta gliserol

sebagai plasticizer (T. Shevtsova,2025). Pada proses pembuatan film berbasis kedelai, dispersi protein kedelai 10 wt% disiapkan dalam air dengan penyesuaian pH hingga 10,5 menggunakan NaOH, kemudian dipanaskan pada 75 °C selama 45 menit, diikuti dengan sonikasi selama 30 detik. Selanjutnya, gliserol sebanyak 50 wt% (terhadap protein) dan MFC ditambahkan ke dalam dispersi dan dihomogenisasi selama 1 jam pada suhu ruang. Campuran tersebut kemudian dicetak menggunakan metode solution casting pada permukaan kaca dan dikeringkan pada suhu ruang hingga terbentuk film bioplastik. Untuk film berbasis zein, protein zein terlebih dahulu mengalami proses defatting menggunakan heksana, kemudian didispersikan dalam etanol 85% pada suhu 50 °C selama 45 menit, sebelum ditambahkan gliserol dan OSP serta dicetak menjadi film.

Analisis molecular docking dilakukan untuk mengevaluasi interaksi antara protein dan komponen lignoselulosa yang digunakan sebagai penguat dalam sistem bioplastik. Hasil docking menunjukkan bahwa kompleks zein–lignin memiliki binding affinity sebesar $-8,8$ kcal/mol, yang lebih tinggi dibandingkan ambang umum interaksi protein–ligan ($-6,5$ hingga $-7,0$ kcal/mol). Interaksi ini didominasi oleh residu nonpolar seperti prolin (PRO), fenilalanin (PHE), dan leusin (LEU), serta beberapa residu polar seperti glutamin (GLN) dan serin (SER). Selain itu, kompleks 3AUP soy protein–cellulose menunjukkan nilai binding affinity $-7,3$ kcal/mol, sedangkan kompleks 3AUP soy protein–hemicellulose memiliki nilai $-7,7$ kcal/mol, yang menunjukkan interaksi stabil antara komponen lignoselulosa dengan protein kedelai. Interaksi ini sebagian besar didominasi oleh ikatan hidrogen, yang terbentuk antara gugus hidroksil pada selulosa atau hemiselulosa dengan residu polar dalam struktur protein.

Pengujian sifat mekanik menunjukkan bahwa penambahan OSP pada film bioplastik meningkatkan kekuatan tarik (tensile stress), khususnya pada film berbasis zein, yang sejalan dengan hasil simulasi docking yang menunjukkan afinitas tinggi antara lignin dan zein. Selain itu, penambahan OSP juga meningkatkan modulus Young dan toughness pada film proteoposit yang terdiri dari campuran protein kedelai dan zein. Namun, peningkatan konsentrasi OSP di atas 0,05–0,1 wt% menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat distribusi partikel yang tidak homogen dalam matriks film. Fenomena ini menunjukkan bahwa konsentrasi penguat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidakteraturan struktur mikro material sehingga menurunkan performa mekaniknya.

Selain OSP, penambahan microfibrillated cellulose (MFC) juga memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik bioplastik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi MFC hingga sekitar 1,5–2 wt% mampu meningkatkan elongasi saat putus (elongation at break) dan toughness material secara signifikan. Peningkatan ini berkaitan dengan kemampuan MFC membentuk jaringan serat dalam matriks protein melalui ikatan hidrogen antarmolekul, yang berperan sebagai penguat struktural dalam material komposit. Selain itu, pengujian sifat barrier terhadap uap air menunjukkan bahwa film yang dimodifikasi dengan 0,1 wt% OSP dan 1,5 wt% MFC memiliki nilai water vapor transmission rate (WVTR) dan water vapor permeability (WVP) yang lebih rendah dibandingkan film kontrol, yang menunjukkan peningkatan kemampuan material dalam menghambat permeasi uap air. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan komponen lignoselulosa dapat meningkatkan sifat mekanik dan barrier bioplastik berbasis protein kedelai sehingga berpotensi digunakan sebagai material kemasan ramah lingkungan.

Studi oleh W. Liang et al. (2022) mengembangkan film bioplastik berbasis soy protein isolate (SPI) dengan penambahan chestnut bur extract (CBE) sebagai agen antioksidan alami (W. Liang,2022). Bahan utama yang digunakan adalah serbuk SPI dengan komposisi protein sekitar 90%, serta gliserol sebagai plasticizer. Ekstrak kulit buah kastanye diperoleh

melalui proses ekstraksi air panas dari limbah kulit kastanye yang telah dikeringkan dan dihaluskan. Film bioplastik kemudian dibuat menggunakan metode solution casting, yaitu dengan melarutkan SPI dalam air, menambahkan gliserol sebanyak 500 g/kg terhadap kandungan protein, serta menambahkan CBE dengan variasi konsentrasi 0–100 g/kg. Larutan kemudian dihomogenisasi menggunakan high-shear mixer pada 4000 rpm selama 3 menit, pH disesuaikan menjadi 8 menggunakan NaOH, dan dipanaskan pada 80 °C selama 20 menit. Setelah itu larutan didinginkan, dituangkan ke dalam cetakan, dan dikeringkan dalam oven vakum pada 50 °C selama 12 jam hingga terbentuk film bioplastik (V. C. H. Wan, 2005).

Hasil pengujian sifat optik menunjukkan bahwa penambahan CBE secara signifikan memengaruhi warna film. Film SPI tanpa penambahan CBE memiliki warna kuning pucat dengan tingkat kecerahan tinggi, sedangkan peningkatan konsentrasi CBE menyebabkan peningkatan nilai kemerahan (a^*) dan kekuningan (b^*) serta penurunan nilai kecerahan (L^*). Selain itu, semua film menunjukkan kemampuan yang baik dalam menghambat transmisi sinar ultraviolet pada panjang gelombang 200–280 nm. Hal ini disebabkan oleh keberadaan asam amino aromatik seperti tirosin, fenilalanin, dan triptofan dalam protein kedelai yang berperan sebagai kromofor penyerap cahaya. Penambahan CBE juga menurunkan transmisi cahaya pada daerah UV sehingga berpotensi meningkatkan kemampuan film dalam melindungi produk pangan dari kerusakan akibat cahaya.

Pengujian sifat fisik menunjukkan bahwa kadar air film meningkat setelah penambahan CBE, yang berkaitan dengan sifat hidrofilik dari senyawa polifenol dalam ekstrak tersebut. Namun demikian, penambahan CBE memberikan efek positif terhadap sifat penghalang oksigen film. Nilai oxygen permeability (OP) menurun dari sekitar $4 \times 10^{-25} \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ pada film kontrol menjadi sekitar $2 \times 10^{-25} \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ pada film dengan kandungan CBE lebih tinggi. Penurunan ini diduga disebabkan oleh interaksi ikatan silang antara SPI dan senyawa polifenol dalam CBE yang meningkatkan kompleksitas jalur difusi oksigen di dalam matriks film, sehingga memperlambat permeasi gas (Z. Ustunol, 2004).

Sifat mekanik film menunjukkan bahwa penambahan CBE hingga 80 g/kg mampu meningkatkan tensile strength film hingga sekitar 2,1 MPa, yang dikaitkan dengan interaksi antara protein dan polifenol melalui ikatan hidrogen (Jakobek, 2015). Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 100 g/kg, kekuatan tarik menurun karena distribusi ekstrak yang kurang homogen dalam matriks protein. Selain itu, film yang mengandung CBE menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan film kontrol, yang ditunjukkan oleh peningkatan kandungan total fenolik serta kemampuan menangkap radikal bebas DPPH. Aktivitas antioksidan ini meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi CBE dan suhu pengujian, yang menunjukkan bahwa senyawa fenolik dalam ekstrak kastanye dapat dilepaskan dari matriks film dan memberikan sifat bioaktif pada material kemasan.

Studi oleh Z.A. Maryam Adilah et al. (2018) mengembangkan film bioplastik berbasis soy protein isolate (SPI) dengan penambahan mango kernel extract (MKE) sebagai sumber antioksidan alami (Z. A. Maryam Adilah, 2018). Bahan utama yang digunakan adalah SPI dengan kandungan protein sekitar 92%, gliserol sebagai plasticizer, serta lesitin kedelai sebagai emulsifier. Ekstrak inti biji mangga diperoleh dari varietas Chokanan dengan cara memisahkan kernel dari biji, mengeringkannya pada suhu 50 °C selama 24 jam, kemudian menggilingnya menjadi bubuk. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan etanol dengan rasio 5:1 (v/w) selama 24 jam dalam kondisi gelap dengan pengadukan berkala, kemudian filtrat diuapkan pada suhu 40 °C hingga diperoleh ekstrak pekat. Film dibuat melalui metode solution casting, yaitu dengan melarutkan 3,5% SPI dalam air panas pada suhu 70 °C,

kemudian ditambahkan gliserol (30% dari berat SPI), MKE (1–5% dari berat SPI), serta lesitin kedelai (25% dari kandungan MKE). Larutan kemudian dihomogenisasi pada 5000 rpm selama 3 menit, dituangkan ke dalam cawan petri, dan dikeringkan pada suhu 25 °C selama 24 jam untuk menghasilkan film bioplastik (P. Tongnuanchan,2013).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan MKE meningkatkan ketebalan film dibandingkan film kontrol. Ketebalan film kontrol berkisar antara 0,050–0,058 mm, sedangkan film SPI + MKE memiliki ketebalan sekitar 0,055–0,068 mm. Peningkatan ketebalan ini disebabkan oleh keberadaan komponen ekstrak yang menghambat pembentukan struktur protein yang lebih teratur sehingga meningkatkan volume matriks film. Dari segi warna, film yang mengandung MKE menunjukkan nilai L* yang lebih rendah dibandingkan film kontrol, yaitu sekitar 70–79, sedangkan film kontrol berada pada kisaran 83–86, menunjukkan warna film menjadi lebih gelap. Hal ini disebabkan oleh warna alami MKE yang kuning-oranye serta kandungan senyawa fenolik yang relatif tinggi (S. Y. Cheng,2015).

Pengujian sifat mekanik menunjukkan bahwa film memiliki nilai tensile strength (TS) dalam rentang 1,9–2,6 MPa selama penyimpanan hingga 90 hari. Nilai TS tertinggi sekitar 2,6 MPa diperoleh pada film kontrol yang disimpan pada suhu 25 °C. Peningkatan kekuatan tarik selama penyimpanan dikaitkan dengan proses penuaan film yang menyebabkan berkurangnya kandungan air dan plasticizer sehingga meningkatkan interaksi antar molekul protein (E. M. Ciannamea,2015). Selain itu, nilai elongation at break (EAB) cenderung menurun seiring meningkatnya TS, menunjukkan bahwa film menjadi lebih kaku selama penyimpanan. Nilai Young's modulus (YM) juga meningkat, terutama pada film yang disimpan pada suhu 25 °C dengan nilai sekitar 3,5 MPa, yang menunjukkan peningkatan kekakuan material akibat reorganisasi jaringan protein selama penyimpanan.

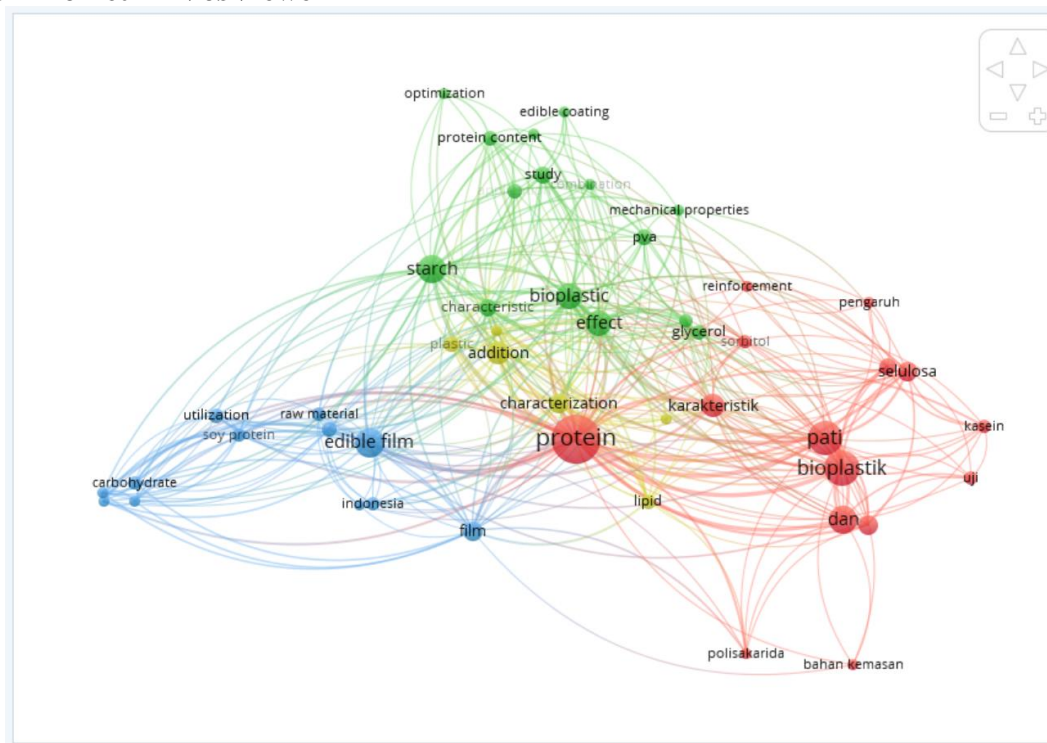
Dari segi aktivitas antioksidan, film SPI yang mengandung MKE menunjukkan aktivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan film kontrol. Nilai radical scavenging activity (RSA) pada uji DPPH untuk film SPI + MKE berada pada kisaran 83–94%, sedangkan film kontrol hanya sekitar 5–17%. Aktivitas antioksidan ini berasal dari senyawa fenolik yang terkandung dalam ekstrak inti biji mangga, selain kontribusi dari asam amino aromatik dalam protein kedelai seperti fenilalanin, tirosin, dan triptofan yang juga memiliki kemampuan menangkap radikal bebas (Wang et al., 2016). Selain itu, hasil uji ABTS menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi sebesar 6,11 µg GAE/g film pada film yang disimpan pada suhu 25 °C. Meskipun terjadi sedikit penurunan aktivitas antioksidan selama penyimpanan hingga 90 hari, film masih mampu mempertahankan lebih dari 54% aktivitas antioksidan, menunjukkan bahwa material ini memiliki potensi yang baik sebagai kemasan pangan aktif dengan kemampuan antioksidan yang stabil selama penyimpanan.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan perbandingan dari keempat penelitian yang telah dibahas sebelumnya, yang meliputi jenis material yang digunakan, metode pembuatan bioplastik, serta hasil pengujian sifat mekanik seperti *tensile strength*, *Young's modulus*, dan *elongation at break*. Perbandingan ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai pengaruh penambahan berbagai bahan penguat maupun aditif terhadap karakteristik bioplastik berbasis *soy protein isolate* (SPI), sehingga dapat diketahui komposisi material yang memberikan peningkatan sifat mekanik dan fungsional yang paling optimal. Tabel ini juga mencantumkan sumber penelitian untuk memudahkan penelusuran referensi yang digunakan dalam kajian ini.

No	Nama Material	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Sumber
1	Soy Protein Isolate (SPI) +	FTIR	Pita serapan 3500–3000 cm ⁻¹ (N–H dan O–H), 2928–2876 cm ⁻¹ (CH ₂), serta	(C. M. Granado

	gelatin + sakarosa + gliserol + glyoxal + transglutaminase		1628, 1550, 1228 cm ⁻¹ (amide I, II, III) yang menunjukkan karakteristik struktur protein	s-Carrera,2025)
		Sifat mekanik	Modulus elastis (E') lebih besar dari modulus viskos (E''). Penambahan crosslinking meningkatkan kekakuan dan kekuatan tarik tetapi menurunkan strain at break	
		Water contact angle	< 57° menunjukkan sifat hidrofilik moderat	
		Water uptake capacity	Penambahan bahan penguat menurunkan kemampuan penyerapan air	
		Biodegradabilitas	Bioplastik mengalami degradasi signifikan setelah ±20 hari dalam tanah	
2	Soy Protein Isolate (SPI) / Zein + Microfibrillated Cellulose (MFC) + Organosolv Softwood Powder (OSP) + gliserol	Molecular docking	Zein–lignin binding affinity -8,8 kcal/mol; soy protein–cellulose -7,3 kcal/mol; soy protein–hemicellulose -7,7 kcal/mol	(T. Shevtsova,2024)
		Sifat mekanik	Penambahan OSP meningkatkan tensile stress, modulus Young, dan toughness, namun konsentrasi tinggi menurunkan sifat mekanik	
		Elongation at break	MFC 1,5–2 wt% meningkatkan elongasi dan toughness film	
		Water vapor barrier	Penambahan 0,1 wt% OSP dan 1,5 wt% MFC menurunkan WVTR dan WVP sehingga meningkatkan sifat barrier	
3	Soy Protein Isolate (SPI) + Chestnut Bur Extract (CBE) + gliserol	Sifat optik	Penambahan CBE menurunkan kecerahan (L*) dan meningkatkan nilai a* dan b* serta meningkatkan kemampuan menghambat sinar UV	(W. Liang,2022)
		Oxygen permeability	Menurun dari sekitar 4 × 10 ⁻²⁵ menjadi 2 × 10 ⁻²⁵ m ³ m ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹	
		Tensile strength	Meningkat hingga sekitar 2,1 MPa pada konsentrasi CBE 80 g/kg	
		Aktivitas antioksidan	Aktivitas DPPH meningkat seiring peningkatan konsentrasi CBE	
4	Soy Protein Isolate (SPI) + Mango Kernel Extract (MKE) + gliserol + lesitin	Ketebalan film	Film kontrol 0,050–0,058 mm; film SPI + MKE 0,055–0,068 mm	(Z. A. Maryam Adilah,2018)
		Warna	Nilai L* film MKE 70–79, lebih rendah dibanding kontrol 83–86	
		Tensile strength	1,9–2,6 MPa selama penyimpanan hingga 90 hari	
		Young's modulus	Mencapai sekitar 3,5 MPa pada penyimpanan 25 °C	
		Aktivitas antioksidan	DPPH 83–94%; kontrol 5–17%	

Hasil Biometrik VosViewer



Hasil visualisasi bibliometrik menggunakan VOSviewer menunjukkan bahwa penelitian bioplastik berkembang dalam beberapa kluster utama yang saling terhubung, dengan fokus dominan pada bioplastik berbasis polisakarida, protein, serta optimasi sifat material. Dalam peta tersebut, kata kunci *protein* menempati posisi sentral dengan tingkat keterhubungan yang tinggi terhadap kata kunci lain seperti *bioplastic*, *starch*, dan *characterization*. Hal ini mengindikasikan bahwa protein berperan penting sebagai komponen utama maupun sebagai bagian dari sistem campuran dalam pengembangan bioplastik modern. Secara khusus, kemunculan *soy protein* dalam kluster edible film menunjukkan bahwa protein kedelai telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik, terutama dalam aplikasi kemasan ramah lingkungan.

Keterkaitan antara kluster protein dan polisakarida, seperti pati dan selulosa, mencerminkan tren penelitian yang mengarah pada pengembangan bioplastik komposit guna meningkatkan sifat fisik dan mekanik material. Hal ini sejalan dengan fokus dalam jurnal review ini yang menitikberatkan pada studi komparasi karakteristik fisik dan mekanik bioplastik berbasis protein kedelai. Selain itu, keberadaan kata kunci seperti *mechanical properties*, *glycerol*, dan *effect* dalam kluster optimasi menunjukkan bahwa parameter seperti kuat tarik, elongasi, dan elastisitas merupakan aspek yang paling banyak dikaji dalam literatur. Penggunaan plasticizer seperti gliserol juga menjadi faktor penting dalam meningkatkan fleksibilitas bioplastik berbasis protein, meskipun sering kali berdampak pada penurunan kekuatan mekanik.

Lebih lanjut, dominasi kata kunci yang berkaitan dengan *characterization* dan *application* menegaskan bahwa penelitian tidak hanya berfokus pada sintesis material, tetapi juga pada evaluasi performa untuk aplikasi nyata, khususnya sebagai bahan kemasan biodegradable. Dalam konteks ini, bioplastik berbasis protein kedelai memiliki potensi yang signifikan karena sifatnya yang biodegradable, ketersediaan bahan baku yang melimpah, serta kemampuannya untuk dimodifikasi melalui penambahan plasticizer maupun pencampuran dengan biopolimer lain. Oleh karena itu, studi komparasi yang dilakukan

dalam jurnal ini menjadi relevan untuk mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan bioplastik berbasis protein kedelai dibandingkan dengan sistem biopolimer lainnya, serta untuk memberikan arah pengembangan material kemasan yang lebih optimal dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dari beberapa penelitian yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa bioplastik berbasis *soy protein isolate* (SPI) memiliki potensi yang baik sebagai material kemasan ramah lingkungan karena bersifat biodegradable dan dapat dimodifikasi untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya. Penambahan berbagai bahan seperti gelatin, sakarosa, *microfibrillated cellulose* (MFC), dan *organosolv softwood powder* (OSP) terbukti mampu meningkatkan kekuatan tarik, modulus Young, serta kekakuan material melalui pembentukan interaksi antar molekul seperti ikatan hidrogen maupun proses *crosslinking* pada matriks protein. Selain itu, penggunaan bahan penguat juga dapat memperbaiki sifat barrier terhadap uap air dan gas sehingga meningkatkan kinerja bioplastik dalam aplikasi kemasan.

Di sisi lain, penambahan ekstrak alami seperti *chestnut bur extract* (CBE) dan *mango kernel extract* (MKE) memberikan nilai tambah berupa aktivitas antioksidan pada film bioplastik. Senyawa fenolik yang terkandung dalam ekstrak tersebut mampu meningkatkan kemampuan menangkap radikal bebas serta memengaruhi sifat optik dan mekanik material. Secara keseluruhan, modifikasi komposisi pada bioplastik berbasis SPI dapat meningkatkan performa mekanik, sifat fungsional, dan stabilitas material, sehingga berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai alternatif pengganti plastik konvensional yang lebih ramah lingkungan, khususnya untuk aplikasi kemasan pangan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- E. Álvarez-Castillo, M. Felix, C. Bengoechea, and A. Guerrero, "Proteins from Agri-Food Industrial Biowastes or Co-Products and Their Applications as Green Materials," *Foods* 2021, Vol. 10, Page 981, vol. 10, no. 5, p. 981, Apr. 2021, doi: 10.3390/foods10050981.
- M. Delgado, M. Felix, and C. Bengoechea, "Development of bioplastic materials: From rapeseed oil industry by products to added-value biodegradable biocomposite materials," *Ind. Crops Prod.*, vol. 125, pp. 401–407, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.09.013.
- M. Alonso-González, M. Felix, A. Guerrero, and A. Romero, "Effects of Mould Temperature on Rice Bran-Based Bioplastics Obtained by Injection Moulding," *Polymers* 2021, Vol. 13, Page 398, vol. 13, no. 3, p. 398, Jan. 2021, doi: 10.3390/polym13030398.
- C. M. Granados-Carrera, D. Castro-Criado, M. Jiménez-Rosado, A. Romero, and V. M. Perez-Puyana, "Reinforcement of soy protein-based bioplastics as potential sustainable packaging solutions," *Future Foods*, vol. 11, no. 7, p. 100524, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100524.
- M. Jiménez-Rosado, J. E. Maigret, D. Lourdin, A. Guerrero, and A. Romero, "Injection molding versus extrusion in the manufacturing of soy protein-based bioplastics with zinc incorporated," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 139, no. 7, p. 51630, Feb. 2022, doi: 10.1002/app.51630.
- M. Amoretti et al., "Production and detection of cold antihydrogen atoms," *Nature* 2002 419:6906, vol. 419, no. 6906, pp. 456–459, Sep. 2002, doi: 10.1038/nature01096.
- V. Perez-Puyana, P. Cuartero, M. Jiménez-Rosado, I. Martínez, and A. Romero, "Physical crosslinking of pea protein-based bioplastics: Effect of heat and UV treatments," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 32, no. 6, p. 100836, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.fpsl.2022.100836.
- J. Y. Boey, C. K. Lee, and G. S. Tay, "Factors Affecting Mechanical Properties of Reinforced Bioplastics: A Review," *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 3737, vol. 14, no. 18, p. 3737, Sep. 2022, doi: 10.3390/polym14183737.

- L. Wang et al., “All-biodegradable soy protein isolate/lignin composite cross-linked by oxidized sucrose as agricultural mulch films for green farming,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 223, pp. 120–128, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.10.251.
- W. Liang et al., “Insight into crosslinked chitosan/soy protein isolate /PVA plastics by revealing its structure, physicochemical properties, and biodegradability,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 187, p. 115548, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115548.
- T. Shevtsova et al., “Enhancing Plant Protein-Based Bioplastics with Natural Additives: A Comprehensive Study by Experimental and Computational Approaches,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 12, no. 43, pp. 15948–15960, Oct. 2024, doi: 10.1021/acssuschemeng.4c03971.
- V. C. H. Wan, S. K. Moon, and S. Y. Lee, “Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations,” *J. Food Sci.*, vol. 70, no. 6, pp. e387–e391, 2005, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb11443.x.
- Z. Ustunol and B. Mert, “Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross-linked whey protein isolate-based films,” *J. Food Sci.*, vol. 69, no. 3, 2004, doi: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb13365.x.
- Z. A. Maryam Adilah, B. Jamilah, and Z. A. Nur Hanani, “Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging,” *Food Hydrocoll.*, vol. 74, pp. 207–218, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.08.017.
- P. Tongnuanchan, S. Benjakul, and T. Prodpran, “Physico-chemical properties, morphology and antioxidant activity of film from fish skin gelatin incorporated with root essential oils,” *J. Food Eng.*, vol. 117, no. 3, pp. 350–360, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.005.
- S. Y. Cheng, B. J. Wang, and Y. M. Weng, “Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 63, no. 1, pp. 115–121, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.030.
- E. M. Ciannamea, P. M. Stefani, and R. A. Ruseckaite, “Storage-induced changes in functional properties of glycerol plasticized – Soybean protein concentrate films produced by casting,” *Food Hydrocoll.*, vol. 45, pp. 247–255, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.11.012.