

**Peran Protein Hidrolisat dan Pati Termodifikasi dalam Sistem Pangan Fungsional:
Mekanisme *Foaming Agent*, Teknologi Enkapsulasi, dan Aplikasinya**

Hikmah Muji Rahayu*¹, Rohmah Fitri Utami¹

¹Prodi Teknologi Hasil Pertanian, Institut Pertanian (Intan) Yogyakarta

E-mail Penulis Korespondensi: hikmahmujirahayu.01@gmail.com

Diterima 13 januari 2026

Dipublikasi 20 Januari 2026

Abstrak

Pangan fungsional memiliki peran strategis dalam mendukung kesehatan melalui penyediaan senyawa bioaktif. Namun, penerapannya masih menghadapi tantangan terkait stabilitas dan bioavailabilitas selama proses pengolahan dan penyimpanan. Artikel *review* ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif potensi hidrolisat protein sebagai bahan pembuih (*foaming agent*) serta pati termodifikasi sebagai material enkapsulan dalam sistem pangan fungsional berbasis bahan alami. Metode yang digunakan berupa *narrative review* terstruktur dengan penelusuran literatur dari basis data ilmiah bereputasi dan relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa hidrolisat protein memiliki sifat tekno-fungsional yang unggul, khususnya dalam pembentukan dan stabilisasi busa, yang dipengaruhi oleh sumber protein, jenis enzim, dan derajat hidrolisis. Di sisi lain, pati termodifikasi menunjukkan potensi tinggi sebagai matriks enkapsulan yang ramah lingkungan dan efektif dalam meningkatkan stabilitas serta bioavailabilitas senyawa bioaktif. Integrasi hidrolisat protein dan pati termodifikasi membentuk kompleks protein–pati melalui interaksi non-kovalen yang berkontribusi terhadap penundaan retrogradasi pati, penurunan indeks glikemik, serta peningkatan stabilitas fisik dan mutu fungsional produk. Dengan demikian, sistem terintegrasi hidrolisat protein–pati termodifikasi berpotensi besar sebagai pendekatan inovatif, efektif, dan berkelanjutan dalam pengembangan pangan fungsional masa depan.

Kata Kunci: enkapsulasi, *foaming agent*, hidrolisat protein, pangan fungsional, pati termodifikasi.

Abstract

Functional foods play a strategic role in supporting health by providing bioactive compounds. However, their application faces challenges related to the stability and bioavailability of these compounds during processing and storage. This review aims to comprehensively evaluate the potential of protein hydrolysates as foaming agents and modified starch as encapsulation materials in natural-based functional food systems. A structured narrative review was conducted, with literature retrieved from reputable and relevant scientific databases. The findings indicate that protein hydrolysates exhibit superior techno-functional properties, particularly in foam formation and stabilization, which are influenced by the protein source, enzyme type, and degree of hydrolysis. Meanwhile, modified starch shows high potential as an environmentally friendly encapsulation matrix that effectively enhances the stability and bioavailability of bioactive

compounds. The integration of protein hydrolysates and modified starch forms protein–starch complexes through non-covalent interactions, contributing to delayed starch retrogradation, reduced glycemic index, and improved physical stability and functional quality of the product. Therefore, the integrated protein hydrolysate–modified starch system holds great promise as an innovative, effective, and sustainable approach for the development of future functional foods

Keywords: *encapsulation, foaming agents, functional foods, modified starches, protein hydrolysates.*

PENDAHULUAN

Pangan fungsional merupakan produk pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi dasar, tetapi juga mengandung senyawa bioaktif yang dapat bermanfaat bagi kesehatan, seperti antioksidan, imunomodulator, dan senyawa yang membantu mencegah penyakit kronis (Vicas, 2025). Perkembangan pangan fungsional menjadi semakin relevan seiring dengan meningkatnya prevalensi penyakit degeneratif, perubahan pola konsumsi, serta meningkatnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kesehatan jangka panjang (Sihite dkk., 2025). Sejalan dengan perkembangan tersebut, tren pengembangan pangan fungsional saat ini berfokus pada pemanfaatan bahan alami yang berkelanjutan, termasuk protein nabati/hewani, polifenol tumbuhan, dan karbohidrat kompleks (Guo dkk., 2022). Studi komprehensif menunjukkan bahwa bahan alami tersebut tidak hanya memberikan manfaat kesehatan, tetapi juga didukung oleh preferensi konsumen terhadap produk pangan dengan label “*clean label*” dan ramah lingkungan (Granato dkk., 2023).

Namun, dalam praktik formulasi pangan fungsional, terdapat tantangan besar yang berkaitan dengan stabilitas dan bioaktivasi senyawa pangan. Senyawa bioaktif sangat mudah mengalami kerusakan selama proses pengolahan, penyimpanan, atau pencernaan karena sensitivitasnya terhadap suhu, pH, oksidasi, dan interaksi dalam matriks pangan (Dahiya dkk., 2023). Dalam konteks tersebut, artikel *review* ini memiliki tujuan dan ruang lingkup untuk membahas secara komprehensif bagaimana bahan fungsional dan teknik formulasi dapat mengatasi tantangan tersebut. Salah satu bahan fungsional yang menjanjikan adalah hidrolisat protein, yaitu protein yang

dipecah menjadi peptida melalui proses hidrolisis enzimatik. Hidrolisat protein telah terbukti memiliki kemampuan fungsional yang lebih baik dibanding protein utuh, termasuk sifat tekno-fungsional seperti kelarutan, kapasitas pembentuk busa, dan potensi bioaktif seperti aktivitas antioksidan yang menjadikannya kandidat ideal sebagai bahan fungsional dalam formulasi pangan fungsional (Rahayu dkk., 2024). Selain itu, pati termodifikasi telah menarik perhatian sebagai material enkapsulan ramah lingkungan dalam teknologi pangan. Modifikasi pati mampu meningkatkan sifat fisikokimia larutannya, stabilitas termal, dan kemampuan membentuk matriks yang efektif untuk melindungi senyawa bioaktif terhadap kondisi lingkungan yang buruk, sekaligus meningkatkan kelarutan dan bioavailabilitasnya. Polimer polisakarida seperti pati termodifikasi menjadi pilihan material enkapsulan yang terbarukan dan ramah lingkungan, sesuai dengan tuntutan keberlanjutan dan pengembangan pangan fungsional (Obayomi dkk., 2025).

Urgensi integrasi antara bahan pembuih (*foaming agent*) dan enkapsulan dalam sistem pangan fungsional muncul karena kedua pendekatan teknologi ini dapat saling melengkapi. *Foaming agent* mampu membantu memperbaiki struktur dan karakteristik sensori produk berbuih, sementara enkapsulan membantu melindungi dan mengatur pelepasan senyawa bioaktif sehingga manfaat kesehatannya tetap terjaga. Kombinasi teknologi ini memungkinkan formulasi produk pangan fungsional yang tidak hanya stabil, tetapi juga efektif dalam menyalurkan senyawa bioaktif sesuai manfaat yang diinginkan (Nordin dkk., 2024). Berdasarkan landasan tersebut, tujuan artikel *review* ini adalah mengevaluasi peran hidrolisat protein sebagai *foaming agent* dan pati

termodifikasi sebagai material enkapsulan dalam sistem pangan fungsional. Ruang lingkup pembahasan meliputi mekanisme kerja, teknologi pengolahan, serta aplikasinya dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan alami. Artikel ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam mendukung inovasi dan pengembangan produk pangan fungsional yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan *narrative review* terstruktur. Pendekatan ini dipilih karena tujuan artikel ini adalah untuk mengkaji, mensintesis, dan mendiskusikan secara komprehensif perkembangan konsep, mekanisme, serta aplikasi hidrolisat protein sebagai *foaming agent* dan pati termodifikasi sebagai material enkapsulan dalam sistem pangan fungsional. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis menggunakan beberapa basis data ilmiah bereputasi, yaitu *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *Google Scholar*, dan SINTA untuk menjangkau publikasi nasional dan internasional yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrolisat Protein sebagai *Foaming Agent* dalam Sistem Pangan

Hidrolisat protein merupakan produk yang dihasilkan dari pemecahan ikatan peptida pada molekul protein induk melalui proses hidrolisis. Hidrolisat protein memiliki tingkat kelarutan, aktivitas biologis, dan karakteristik permukaan yang berbeda dengan protein utuh karena struktur molekulnya lebih pendek dan fleksibel (Shay dkk., 2023). Berbagai sumber protein nabati maupun hewani telah digunakan untuk menghasilkan hidrolisat protein dengan potensi sebagai *foaming agent*, seperti kacang kedelai (Liang dkk., 2025), kacang hijau (Promjeen dkk., 2025), dan biji sesawi (Das dkk., 2025). Hidrolisat protein juga dapat berasal dari limbah industri pangan seperti ampas tahu (Rahayu dkk., 2024), kulit ikan tengiri (Rahmawati dkk., 2024), dan biji labu kuning (Mazloomi-Kiyapey dkk., 2019). **Tabel 1.** menyajikan ringkasan hasil penelitian terdahulu mengenai karakteristik hidrolisat protein dari berbagai sumber protein

nabati dan hewani yang memiliki sifat fungsional dalam berbagai aplikasi pada produk pangan.

Tabel 1. Sumber Protein, Jenis Enzim, Sifat Fungsional, dan Aplikasi Hidrolisat Protein sebagai *Foaming Agent* dalam Sistem Pangan Fungsional

Sumber Protein	Jenis Enzim	Sifat Fungsional	Aplikasi	Sumber
Kacang hijau	Alcalase	Antioksidan, kelarutan, pembentukan busa dan emulsi	Minuman fungsional, makanan dengan sistem emulsi (saus atau <i>dressing</i>)	Promjeen dkk., 2025
Kacang kedelai	Pepsin	Kapasitas pembentukan busa dan stabilitas busa	Minuman berbusa, produk <i>bakery</i> , produk pangan tinggi protein	Liang dkk., 2025
Biji sesawi	Papain, pepsin, alcalase	Kelarutan, <i>foaming agent</i>	pangan fungsional dan nutraseutikal	Das dkk., 2025
Legum	Alcalase, pepsin	Antioksidan, kelarutan, stabilitas emulsi, <i>foaming agent</i>	Suplemen kesehatan, produk nutraseutikal	Adewole dkk., 2024
Ampas tahu	Papain	Kelarutan, pembentukan dan stabilitas busa	Minuman serbuk instan	Rahayu dkk., 2024
Kulit ikan tengiri	Papain	Kelarutan, kemampuan mengikat air, <i>foaming agent</i>	Suplemen kolagen, produk nutraseutikal	Rahmawati dkk., 2024
Biji labu kuning	Pepsin	Antioksidan, kelarutan, emulsifikasi, dan <i>foaming agent</i>	Bahan pangan fungsional, bahan bioaktif alami, suplemen	Mazloomi-Kiyapey dkk., 2019

Proses hidrolisis protein dapat dilakukan secara enzimatik, asam, atau basa. Namun, hidrolisis enzimatik lebih sering digunakan dalam aplikasi pangan karena kondisi proses yang lebih ringan dan selektif terhadap ikatan peptida tertentu. Enzim seperti alcalase, papain, dan pepsin merupakan jenis enzim yang umum digunakan untuk menghasilkan fragmen peptida dari protein utuh (Annisa dkk., 2017). Derajat hidrolisis (DH) merupakan parameter penting yang menunjukkan proporsi ikatan peptida yang telah terputus. Ukuran peptida, kelarutan, serta

sifat fungsional termasuk kemampuan membentuk busa sangat dipengaruhi oleh DH. Secara umum, proses hidrolisis yang rendah belum cukup membuka struktur protein, sementara hidrolisis yang tinggi dapat menghasilkan peptida yang terlalu pendek sehingga dapat menyebabkan kehilangan kemampuan membentuk film pada antarmuka (Leni dkk., 2020). Studi Lamsal dkk., (2016) menunjukkan bahwa peningkatan DH secara signifikan dapat meningkatkan kelarutan protein kedelai. Namun, pada DH yang tinggi dapat menurunkan kemampuan membentuk busa. Hasil penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa hidrolisat protein oat memiliki foaming capacity yang meningkat seiring dengan peningkatan DH hingga titik tertentu, karena peptida berukuran menengah dapat mempercepat adsorpsi di antarmuka dan mengurangi tegangan permukaan, sehingga membentuk busa yang lebih besar dan stabil (Zhang dkk., 2025).

Pembentukan busa oleh hidrolisat protein dapat terjadi melalui mekanisme yang secara umum melibatkan beberapa tahap (Janssen dkk., 2025). Tahap pertama, adsorpsi molekul protein/peptida ke antarmuka udara-air. Molekul protein akan memposisikan bagian yang tidak suka air (hidrofobik) ke fase udara dan bagian yang suka dengan air (hidrofilik) ke fase air sehingga mampu menurunkan tegangan permukaan. Tahap kedua, pembentukan film viskoelastik di antarmuka. Struktur peptida yang fleksibel akan membentuk lapisan film yang elastis dan kuat sehingga mencegah pecahnya gelembung. Tahap ketiga, stabilisasi busa melalui viskositas serta jaringan peptida yang berinteraksi. Interaksi antara peptida di permukaan dapat berkontribusi pada ketahanan struktur busa yang lebih lama.

Hidrolisat protein dengan fragmen yang memiliki berat molekul sedang (30-100 kDa) mampu memberikan kombinasi antara adsorpsi yang cepat dan film viskoelastik yang kuat, sehingga menunjukkan kapasitas pengembangan busa dan stabilitas busa yang tinggi. Sedangkan fragmen yang berukuran terlalu kecil (<10 kDa) cenderung tidak dapat membentuk film yang stabil (Zhao dkk., 2025). Contoh spesifik dari penelitian mengenai globulin oat yang menunjukkan peningkatan ketebalan film busa dan pengurangan tegangan permukaan setelah

proses hidrolisis, hal tersebut memberikan kontribusi yang baik pada kemampuan dalam membentuk busa dibandingkan dengan protein utuh (Zhang dkk., 2025).

Pati Termodifikasi sebagai Material Enkapsulan dalam Sistem Pangan

Pati alami merupakan polisakarida yang tersusun atas dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin, yang membentuk struktur granular semi-kristalin dengan sifat hidrofilik, *biodegradable*, dan biokompatibel. Struktur dan sifat ini menjadikan pati banyak dimanfaatkan dalam industri pangan dan farmasi sebagai bahan pengental, penstabil, dan pembawa senyawa aktif (Pérez & Bertoft, 2016). Namun demikian, pati alami memiliki keterbatasan fungsional, seperti kelarutan yang rendah, stabilitas termal dan mekanik yang terbatas, serta sensitivitas terhadap perubahan pH dan kelembaban, sehingga membatasi aplikasinya sebagai bahan enkapsulan (Ashogbon & Akintayo, 2017; Li et al., 2020). Oleh karena itu, untuk meningkatkan sifat fungsionalnya, pati dapat dimodifikasi melalui berbagai metode, meliputi modifikasi fisik, kimia, dan enzimatis, yang bertujuan memperbaiki stabilitas, kelarutan, dan kemampuan interaksi pati dengan senyawa bioaktif (Xie dkk., 2019; Liu dkk., 2021). Proses modifikasi ini bertujuan meningkatkan sifat fungsional pati tanpa menghilangkan sifat biodegradabilitas dan keamanannya.

Modifikasi secara fisik merupakan cara modifikasi pati tanpa menggunakan bahan kimia dan enzim, namun menggunakan tekanan, panas, mikronisasi sebagai dasar modifikasinya. Modifikasi pati secara fisik cenderung lebih aman, tidak menghasilkan produk samping kimiawi, produknya tidak dibatasi oleh terlalu banyak regulasi karena dianggap sebagai bahan alami yang aman (Huang dkk., 2016; Din dkk., 2017). Modifikasi secara enzimatis merupakan metode modifikasi dengan menambahkan enzim pada pati sehingga terjadi hidrolisis yang akan mendepolimerisasi pati menjadi glukosa, maltosa, atau oligosakarida. Selama proses hidrolisis, enzim akan memutus ikatan α -1,4 atau α -1,6 pada pati. Modifikasi ini bersifat spesifik, sehingga dapat menghasilkan produk dengan

struktur dan sifat yang spesifik pula (Karaki dkk., 2016).

Bahan enkapsulan untuk proses enkapsulasi dapat berasal dari berbagai jenis polimer, antara lain karbohidrat, derivat selulosa, gum, lipid, dan protein. Di antara berbagai sumber bahan enkapsulan tersebut, pati banyak digunakan karena harganya relatif murah, ketersediaannya melimpah, bersifat biodegradable, serta mudah dimodifikasi secara fisik, kimia, maupun enzimatis untuk meningkatkan fungsionalitasnya (Zhu, 2015; Ashwar et al., 2016). Pati termodifikasi dilaporkan memiliki karakteristik yang lebih unggul sebagai enkapsulan, seperti peningkatan kelarutan, kemampuan membentuk film dan matriks pelindung yang baik, stabilitas emulsi yang lebih tinggi, serta ketahanan yang lebih baik terhadap degradasi selama proses pengolahan dan penyimpanan (Liu et al., 2017; Silva et al., 2018; Wang et al., 2021). Sifat-sifat tersebut memungkinkan pati termodifikasi berperan secara efektif dalam melindungi senyawa aktif dari pengaruh lingkungan eksternal seperti oksigen, cahaya, dan suhu tinggi selama penyimpanan (Chávez-Murillo et al., 2020; Mendes et al., 2022). Sifat-sifat tersebut memungkinkan pati termodifikasi berperan efektif dalam melindungi senyawa aktif dari pengaruh lingkungan eksternal seperti oksigen, cahaya, dan suhu tinggi.

Interaksi antara pati termodifikasi dan senyawa bioaktif terjadi melalui ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, interaksi elektrostatik, serta pembentukan kompleks inklusi, khususnya pada pati-lipid atau pati-polifenol, yang secara signifikan memengaruhi efisiensi enkapsulasi, stabilitas, serta profil pelepasan senyawa bioaktif (McClements, 2017; Liu et al., 2018; Zhang et al., 2020). Oleh karena itu, penggunaan pati termodifikasi sebagai enkapsulan berpotensi meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, dan efektivitas senyawa bioaktif dalam aplikasi pangan fungsional dan farmasi (Fonseca et al., 2021; Ashwar et al., 2022). Oleh karena itu, penggunaan pati termodifikasi sebagai enkapsulan berpotensi meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, dan efektivitas senyawa bioaktif dalam aplikasi pangan fungsional dan farmasi. **Tabel 2.** merangkum berbagai jenis pati termodifikasi yang telah dikaji sebagai matriks

fungsional dalam pengikatan dan enkapsulasi senyawa bioaktif.

Tabel 2. Peran Pati Termodifikasi dalam Meningkatkan Stabilitas dan Bioavailabilitas Senyawa Bioaktif dan Aplikasinya

Jenis Pati Termodifikasi	Senyawa Bioaktif	Dampak terhadap Stabilitas & Bioavailabilitas	Aplikasi	Sumber
Pati asetilasi	Polifenol (katekin, asam galat)	Meningkatkan stabilitas oksidatif dan melindungi polifenol dari degradasi panas dan pH	Enkapsulasi antioksidan dalam pangan fungsional	Chen dkk., 2018; Li dkk., 2021
Pati modifikasi fosfat	Vitamin C	Mengurangi degradasi selama penyimpanan dan pemrosesan	Suplemen dan minuman fungsional	Liu dkk., 2019
Pati oktenil suksinat (OSA)	Karotenoid (β -karoten, likopen)	Meningkatkan kelarutan dan bioavailabilitas senyawa lipofilik	Fortifikasi pangan	Yang dkk., 2023
Pati cross-linked	Flavonoid	Pelepasan terkendali dan peningkatan stabilitas selama pencernaan	Sistem penghantaran bioaktif	Wang dkk., 2016
Pati pregelatinisasi	Minyak atsiri dan senyawa volatil	Menurunkan volatilitas dan kehilangan aroma	Produk pangan instan	Sun dkk., 2021
Pati terhidrolisis	Peptida bioaktif	Meningkatkan pelepasan cepat dan ketersediaan hayati	Nutraseutikal	Li dkk., 2020

Teknologi Enkapsulasi dalam Pangan Fungsional

Enkapsulasi pangan merupakan teknologi yang digunakan untuk melindungi senyawa aktif atau komponen sensitif dalam bahan pangan dengan cara membungkusnya menggunakan matriks atau bahan penyalut tertentu. Prinsip dasar enkapsulasi adalah pembentukan sistem partikel, kapsul, atau matriks yang mampu mengisolasi bahan inti (*core material*) dari lingkungan eksternal sehingga stabilitas fisik, kimia, dan biologisnya dapat dipertahankan selama proses pengolahan, penyimpanan, dan konsumsi (Augustin & Hemar, 2016; Fang & Bhandari, 2018). Dalam sistem enkapsulasi pangan, bahan inti umumnya berupa senyawa bioaktif seperti vitamin, antioksidan, probiotik, enzim, senyawa flavor, atau minyak esensial yang bersifat mudah terdegradasi akibat panas, oksigen, cahaya, atau pH ekstrem.

Bahan penyalut yang digunakan dalam enkapsulasi pangan harus bersifat aman dikonsumsi, memiliki kemampuan membentuk film atau matriks, serta kompatibel dengan bahan inti (de Vos dkk., 2016). Interaksi antara bahan inti dan penyalut, baik melalui ikatan hidrogen, gaya elektrostatik, maupun gaya hidrofobik, menjadi prinsip penting dalam menentukan efisiensi enkapsulasi dan stabilitas produk akhir. Selain itu, prinsip enkapsulasi pangan juga sangat dipengaruhi oleh metode yang digunakan, seperti *spray drying*, *freeze drying*, dan *foam-mat drying*. Setiap metode memiliki mekanisme pembentukan kapsul yang berbeda, sehingga memengaruhi ukuran partikel, efisiensi enkapsulasi, serta karakteristik pelepasan senyawa aktif (Kandasamy dkk., 2022). Oleh karena itu, pemilihan metode enkapsulasi harus disesuaikan dengan sifat bahan inti dan tujuan aplikasi dalam sistem pangan.

Spray drying merupakan metode enkapsulasi yang paling luas diaplikasikan karena prosesnya relatif cepat, biaya operasional lebih rendah, serta mudah diadaptasi pada skala industri. Namun demikian, penggunaan suhu tinggi selama proses pengeringan dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif yang bersifat termolabil, seperti polifenol dan komponen volatil minyak atsiri, sehingga berpotensi menurunkan aktivitas biologisnya (Caliskan & Dirim, 2016; Ozkan dkk., 2019; Sharifi dkk., 2023). Sebaliknya, *freeze drying* (pengeringan beku) dilakukan pada suhu rendah melalui mekanisme sublimasi es di bawah tekanan vakum, sehingga mampu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif dan volatil dengan sangat baik. Meskipun demikian, metode ini memiliki keterbatasan berupa waktu proses yang panjang serta biaya produksi yang tinggi, sehingga penerapannya umumnya terbatas pada produk bernilai tambah tinggi atau senyawa bioaktif sensitif (Ratti, 2018; Ciurzyńska & Lenart, 2016; Aadil dkk., 2024). Sementara itu, *foam-mat drying* merupakan metode pengeringan alternatif yang relatif sederhana, khususnya untuk bahan cair atau semi-cair. Proses ini melibatkan pembentukan busa stabil sebelum pengeringan, yang meningkatkan luas permukaan dan mempercepat laju pengeringan. Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa *foam-mat drying* mampu

mempertahankan aktivitas antioksidan dengan cukup baik, meskipun stabilitas busa serta keseragaman ukuran partikel masih menjadi tantangan utama dalam aplikasinya (Hardy & Jideani, 2017; Abbasi & Azizpour, 2016; Kumar dkk., 2022).

Integrasi Hidrolisat Protein dan Pati Termomodifikasi

Interaksi antara hidrolisat protein dan pati umumnya berlangsung melalui ikatan non-kovalen, terutama ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik yang terjadi antara rantai peptida hasil hidrolisis dengan gugus hidroksil ($-OH$) pada molekul pati. Interaksi tersebut mendorong terbentuknya protein–pati kompleks yang mampu memodifikasi struktur pati, sehingga berpengaruh terhadap sifat fisikokimia dan fungsionalnya selama proses pengolahan pangan (Lu dkk., 2022). Protein atau peptida yang berinteraksi dan terikat pada molekul pati dapat menghambat pembentukan jaringan amilosa yang tersusun secara rapat. Kondisi ini menyebabkan penundaan pada proses retrogradasi pati, sehingga meningkatkan stabilitas struktural dan mutu fungsional produk pangan selama penyimpanan (Scott & Awika, 2023).

Integrasi hidrolisat protein dengan pati termomodifikasi berpotensi menghasilkan produk pangan fungsional dengan karakteristik yang unggul dari aspek gizi maupun teknologi. Kombinasi ini dapat meningkatkan nilai gizi melalui penambahan protein bioaktif serta peningkatan fraksi serat, sehingga memperbaiki profil nutrisi secara keseluruhan. Selain itu, interaksi antara protein dan pati berkontribusi terhadap penurunan indeks glikemik akibat terhambatnya proses hidrolisis enzimatis pati selama pencernaan. Dari sudut pandang teknologi pangan, sistem protein–pati termomodifikasi ini juga mampu meningkatkan sifat fungsional produk, termasuk tekstur, stabilitas fisik selama penyimpanan, serta kemampuan dalam mengatur seberapa cepat nutrisi (misalnya glukosa atau peptida bioaktif) dilepaskan dan diserap oleh tubuh, sehingga berdampak pada respons pencernaan dan metabolik (Lu dkk., 2022).

Aplikasi Hidrolisat Protein dan Pati Termodifikasi dalam Produk Pangan Fungsional

Hidrolisat protein dan pati termodifikasi telah menarik perhatian dalam pengembangan pangan fungsional karena memiliki kemampuan dalam meningkatkan sifat tekno-fungsional, stabilitas, dan bioavailabilitas senyawa bioaktif. Hidrolisat protein berperan sebagai *foaming agent* yang mendukung tekstur dan kualitas produk, sedangkan pati termodifikasi berfungsi sebagai matriks enkapsulan yang melindungi senyawa bioaktif dari degradasi. Integrasi kedua bahan ini membuka peluang untuk merancang sistem pangan fungsional yang lebih stabil, aman, dan bernilai gizi tinggi, sekaligus memberikan potensi inovasi dalam formulasi produk berbasis bahan alami.

PENUTUP

Simpulan

Hidrolisat protein dan pati termodifikasi memiliki potensi yang signifikan sebagai komponen kunci dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan alami. Hidrolisat protein berperan efektif sebagai *foaming agent* melalui peningkatan kelarutan, fleksibilitas struktur, dan kemampuan pembentukan serta stabilisasi busa. Sementara pati termodifikasi berfungsi sebagai material enkapsulan yang mampu melindungi senyawa bioaktif serta meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitasnya. Integrasi kedua komponen ini menghasilkan sistem pangan fungsional dengan karakteristik gizi dan teknologi yang unggul, termasuk perbaikan tekstur, stabilitas selama penyimpanan, pengendalian dalam pelepasan nutrisi, dan potensi penurunan indeks glikemik, sehingga menawarkan pendekatan inovatif dan berkelanjutan dalam formulasi produk pangan fungsional.

Saran

Berdasarkan hasil pembahasan, pengembangan pangan fungsional disarankan memanfaatkan integrasi hidrolisat protein dan pati termodifikasi

untuk meningkatkan stabilitas, mutu fungsional, dan efektivitas penyerapan senyawa bioaktif. Optimalisasi sumber protein, jenis enzim, derajat hidrolisis, serta pemilihan jenis pati termodifikasi perlu disesuaikan dengan karakteristik produk dan metode pengolahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aadil, R. M., Roobab, U., Manzoor, M. F., & Xu, Y. (2024). *Freeze-drying of functional foods: Recent advances, challenges, and future trends*. Food Research International, 176.
- Abbasi, E., & Azizpour, M. (2016). *Evaluation of physicochemical properties of foam-mat dried sour cherry powder*. LWT – Food Science and Technology, 68, 105–110.
- Annisa, S., Sastro Darmanto, Y., & Amalia, U. (2017). *Pengaruh perbedaan spesies ikan terhadap hidrolisat protein ikan dengan penambahan enzim papain*. Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology, 13(1), 24–30.
- Ashogbon, A. O., & Akintayo, E. T. (2017). *Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources*. Starch/Stärke, 69(9–10), 1600097.
- Ashwar, B. A., Gani, A., Shah, A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2022). *Starch-based encapsulation systems for delivery of bioactive compounds: Recent advances and applications*. International Journal of Biological Macromolecules, 210, 282–299.
- Ashwar, B. A., Gani, A., Wani, I. A., Shah, A., & Masoodi, F. A. (2016). *Physicochemical properties, structural characteristics, and digestibility of starches from different botanical sources*. International Journal of Biological Macromolecules, 89, 528–538.
- Augustin, M. A. & Hemar, Y. (2016). *Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients*. Chemical Society Reviews, 45(15), 4357–4374.
- Caliskan, G., & Dirim, S. N. (2016). *The effects of spray drying conditions on the*

- physicochemical properties of encapsulated sumac extract*. Journal of Food Engineering, 173, 62–70.
- Chávez-Murillo, C. E., Wang, X., & Zhang, Y. (2020). *Modified starches as wall materials for encapsulation of bioactive compounds: A review*. Food Hydrocolloids, 101, 105475.
- Chen, Y., Zhang, H., & Wang, L. (2018). *Encapsulation of polyphenols using acetylated starch: Stability and antioxidant activity*. Food Hydrocolloids, 81, 493–501.
- Ciurzyńska, A., & Lenart, A. (2016). *Freeze-drying – application in food processing and biotechnology*. Food Engineering Reviews, 8(3), 311–331.
- Dahiya, D., Terpou, A., Dasenaki, M., & Nigam, P. S. (2023). *Current status and future prospects of bioactive molecules delivered through sustainable encapsulation techniques for food fortification*. Sustainable Food Technology, 1(4), 500–510.
- Das, T., Haiti, S. B., Mondal, D., Sardar, K. S., & Dhar, P. (2025). *Enzymatically enhanced mustard (Brassica nigra) protein hydrolysates as a next-generation plant-based pragmatic alternative: Functional and hypotensive efficacy*. Food Chemistry Advances, 101162.
- de Vos, P. & Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2016). *Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components*. International Dairy Journal, 60, 1–9.
- Din, Z., Xiong, H. & Fei, P. (2017). *Physical and chemical modification of starches: A review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(12), hal. 2691–2705.
- Fang, Z. & Bhandari, B. (2018). *Encapsulation of polyphenols – A review*. Trends in Food Science & Technology, 76, 1–15.
- Fonseca, L. M., Gonçalves, C., & Rocha, C. M. R. (2021). *Modified starch as an encapsulating agent for bioactive compounds: Structure–function relationship and applications*. Food Hydrocolloids, 119, 106850.
- Granato, D., Zabetakis, I., & Koidis, A. (2023). *Sustainability, nutrition, and scientific advances of functional foods under the new EU and global legislation initiatives*. Journal of Functional Foods, 109, 105793.
- Guo, Q., Xiao, X., Lu, L., Ai, L., Xu, M., Liu, Y., & Goff, H. D. (2022). *Polyphenol–polysaccharide complex: Preparation, characterization and potential utilization in food and health*. Annual Review of Food Science and Technology, 13, 59–87.
- Hardy, Z., & Jideani, V. A. (2017). *Foam-mat drying technology: A review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(12), 2560–2572.
- Huang, T. T., Zhou, D.N., Jin, Z. Y., & Xu, X.M. (2016). *Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch*. Food Hydrocolloids. Elsevier Ltd, 54, hal. 202–210.
- Janssen, F., Breugelmans, A., Gunes, D. Z., & Wouters, A. G. B. (2025). *Relating the foaming properties of oat proteins to their air–water interfacial characteristics and thin film drainage dynamics*. Food Hydrocolloids, 167, 111426.
- Kandasamy, S., Naveena, B. M., & Ramachandraiah, K. (2022). *Recent advances in encapsulation of bioactive compounds in food applications*. Food Bioscience, 48.
- Karaki, N., Aljawish, A., Humeau, C., Muniglia, L., & Jasniewski, J. (2016). *Enzymatic Modification of Polysaccharides: Mechanisms, Properties, And Potential Applications: A Review*. Enzyme and Microbial Technology 90: 1–18.
- Kumar, Y., Kumar, M., & Sharma, A. (2022). *Foam-mat drying of fruit and vegetable products: A review*. Journal of Food Processing and Preservation, 46(5).
- Lamsal, B. P., Reitmeier, C., & Murphy, P. A. (2016). *Enzymatic hydrolysis of soy protein and its effect on functional properties*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 93(3), 351–360.

- Leni, G., Soetemans, L., Caligiani, A., Sforza, S., & Bastiaens, L. (2020). *Degree of hydrolysis affects the techno-functional properties of lesser mealworm protein hydrolysates*. *Foods*, 9(4), 381.
- Li, C., Hu, Y., & Li, E. (2020). *Structural characteristics and physicochemical properties of starches from different botanical sources*. *Food Hydrocolloids*, 105, 105748.
- Li, C., Huang, Q., & Fu, X. (2021). *Interactions between modified starch and polyphenols: Implications for stability and delivery*. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 1–12.
- Li, J., Ye, F., Lei, L., Zhao, G., & Sun, Y. (2020). *Encapsulation of bioactive peptides using modified starch: Functional properties and release behavior*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 403–410.
- Liang, G., Chen, W., Zeng, M., He, Z., Goff, H. D., Chen, J., Chen, J. L., & Wang, Z. (2025). *Controlled hydrolysis with preheating treatment and glutathione addition for enhanced foaming properties of soy protein isolate*. *Journal of Food Engineering*, 387, 112339.
- Liu, C., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2018). *Starch-based encapsulation of bioactive compounds: Interactions, mechanisms and applications*. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 23–35.
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2017). *Thermal processing of starch-based polymers*. *Progress in Polymer Science*, 64, 1–22.
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2019). *Starch-based encapsulation of vitamin C: Stability and release behavior*. *Carbohydrate Polymers*, 206, 499–508.
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2021). *Thermal processing of starch-based polymers*. *Progress in Polymer Science*, 113, 101334.
- Lu, X., Ma, R., Zhan, J., Wang, F., & Tian, Y. (2022). *The role of protein and its hydrolysates in regulating the digestive properties of starch: A review*. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 54–65.
- McClements, D. J. (2017). *Encapsulation, protection, and delivery of bioactive compounds: A review*. *Journal of Food Science*, 82(4), 997–1014.
- Mendes, C., Ruivo, R., & Teixeira, J. A. (2022). *Encapsulation of bioactive compounds using starch-based materials: Recent advances and applications*. *Carbohydrate Polymers*, 276.
- Nordin, N. L., Bakar, J., Mohd Adzahan, N., Abdull Razis, A. F., Ismail, N., & Sulaiman, R. (2024). *Microencapsulation of bioactive volatile compounds from MD2 pineapple peel extract using spray-drying and foam-mat drying*. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101539.
- Obayomi, O. V., Edo, G. I., Dada, A. O., & Dokouhaki, M. (2025). *Advanced encapsulation technologies for functional foods: Enhancing stability, bioavailability, and controlled release of nutraceuticals and bioactives*. *Applied Food Research*, 101622.
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). *A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications*. *Food Chemistry*, 272, 494–506.
- Pérez, S., & Bertoft, E. (2016). *The molecular structures of starch components and their contribution to the granular architecture*. *Starch/Stärke*, 68(9–10), 720–732.
- Promjeen, K., Phongthai, S., Singh, K., Chaisan, W., Pakakaew, P., Srichairatanakool, S., Samakradhamrongthai, R. S., & Utama-ang, N. (2025). *Optimization of enzymatic protein hydrolysate from mung bean (*Vigna radiata* L.), and its functional properties*. *Foods*, 14(14), 2459.
- Rahayu, H. M., Ningrum, A., Fibri, D. L. N., & Ekafitri, R. (2024). *Cavendish banana and red dragon fruit instant powdered with the addition of okara protein hydrolysate using foam mat drying*. *Food Measure*, 18, 6237–6249.

- Rahmawati, H., Agustini, T. W., Dewi, E. N., & Trianto, A. (2024). *The characteristics of Spanish mackerel dry skin collagen hydrolisate with papain enzyme*. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia, 27(12), 1156–1171.
- Ratti, C. (2018). *Freeze-drying for food preservation*. Handbook of Food Preservation (3rd ed.). CRC Press.
- Scott, G., & Awika, J. M. (2023). *Effect of protein–starch interactions on starch retrogradation and implications for food product quality*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(3), 2081–2111.
- Sharifi, S., Rezazadeh, G., & Jafari, S. M. (2023). *Spray drying encapsulation of bioactive compounds: Recent advances and applications*. Trends in Food Science & Technology, 134, 98–114.
- Shay, N., Jing, X., Bhandari, B., Dayananda, B., & Prakash, S. (2023). *Effect of enzymatic hydrolysis on solubility and surface properties of pea, rice, hemp, and oat proteins: Implication on high protein concentrations*. Food Bioscience, 53, 102515.
- Sihite, N. W., Rotua, M., & Nazarena, Y. (2025). *Edukasi gizi tentang potensi pangan fungsional dalam mencegah penyakit degeneratif*. Komunitas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 5(1), 21–30.
- Silva, P. T., Fries, L. L. M., Menezes, C. R., Holkem, A. T., Schwan, C. L., Wigmann, É. F., & Bastos, J. O. (2018). *Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology*. Ciência Rural, 48(10).
- Sun, Q., Wang, T., & Xie, J. (2021). *Cross-linked starch for controlled release of flavonoids during digestion*. Carbohydrate Polymers, 252.
- Vicas, S. I. (2025). *The health benefits of nutrients and bioactive compounds in functional foods and beverages*. Nutrients, 17, 3679.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2016). *Starch–flavonoid interactions and their effects on physicochemical properties*. Food Hydrocolloids, 55, 162–170.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2021). *Starch retrogradation: A comprehensive review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(1), 1–25.
- Xie, F., Pollet, E., Halley, P. J., & Avérous, L. (2019). *Starch-based nano-biocomposites*. Progress in Polymer Science, 90, 1–30.
- Yang, Y., Liu, C., & Huang, Q. (2023). *OSA starch-based delivery systems for lipophilic bioactives: Recent advances*. Food Hydrocolloids, 139.
- Zhang, B., Li, X., Liu, J., Xie, F., & Chen, L. (2020). *Supramolecular structure of starch–polyphenol complexes and their influence on bioaccessibility of polyphenols*. Food Hydrocolloids, 103, 105656.
- Zhang, Y., Chen, H., Zhang, J., Gong, X., Yang, L., & Jin, Y. (2025). *Enhancement of foaming performance of oat globulin by limited enzymatic hydrolysis: A study from the viewpoint of the structural and functional properties*. Gels, 11(8), 615.
- Zhao, E., He, H., He, X., Liu, X., & Li, Y. (2025). *Molecular weight-dependent analysis of physicochemical properties and foam interfacial behavior mechanisms of egg white hydrolysates by immobilized enzyme*. Journal of Future Foods. Advance online publication.
- Zhu, F. (2015). *Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch*. Carbohydrate Polymers, 122, 456–480.