

POLISAKARIDA TERMODIFIKASI SEBAGAI PEMBAWA PROBIOTIK

Inas Suci Rahmawati¹, Diah Chandra Aryani², Rahayu Lestari Sugihartini^{3*}

^{1,2}*Division of Food Science & Technology, Faculty of Engineering & Technology, IPB University*

³*Division of Chemical Engineering & Smart Manufacture Design, Faculty of Engineering & Technology, IPB University*

*Penulis korespondensi: rahayulestari@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Penerapan bahan pembawa berbasis polisakarida sangat penting untuk mempertahankan viabilitas probiotik dalam pangan fungsional. Bahan pembawa konvensional seperti pati dan maltodekstrin telah dikenal secara luas karena sifat protektifnya, namun studi-studi terbaru menunjukkan bahwa polisakarida termodifikasi dapat menawarkan keunggulan khas melalui modifikasi struktural. Meskipun modifikasi kimia lebih disukai, proses fermentasi berpotensi meningkatkan viabilitas probiotik melalui produksi metabolit. Untuk memperjelas potensi-potensi tersebut, penelitian ini mengajukan sebuah tinjauan pustaka sistematis (*systematic literature review*) yang membandingkan maltodekstrin dengan berbagai matriks polisakarida termodifikasi dan pati terfermentasi dalam penghantaran probiotik. Tinjauan ini akan mensintesis bukti terkait kelangsungan hidup mikroba di bawah tekanan saluran pencernaan, stabilitas penyimpanan, dan kontribusi sensoris, sekaligus memetakan tren metodologis dan celah penelitian (*research gaps*). Literatur awal menunjukkan bahwa pati terfermentasi dapat meningkatkan ketahanan probiotik dan berkontribusi pada profil rasa yang lebih baik, meskipun temuan-temuan yang ada masih terfragmentasi di berbagai proses fermentasi dan galur probiotik yang berbeda. Studi ini bertujuan untuk memberikan perspektif yang komprehensif mengenai kelayakan pati terfermentasi sebagai pembawa alternatif, serta mengidentifikasi arah penelitian selanjutnya dalam desain pangan fungsional.

Kata kunci: maltodekstrin, pati modifikasi, pati fermentasi, pembawa probiotik

1 PENDAHULUAN

Probiotik, yang secara harfiah berarti "untuk kehidupan" (*for life*), adalah mikroorganisme hidup yang bila diberikan dalam jumlah yang memadai, memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya (FAO/WHO, 2002). Mikroorganisme ini, terutama berasal dari kelompok bakteri *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* serta ragi tertentu, berperan krusial dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus dan melindungi tubuh dari serangan mikroba patogen (Kerry et al., 2018; Nagpal et al., 2012). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa probiotik dapat membantu mencegah dan mengurangi gangguan saluran cerna, termasuk diare terkait antibiotik, diare akibat infeksi rotavirus, sindrom iritasi usus besar (*irritable bowel syndrome*, IBS), penyakit radang usus (*inflammatory bowel disease*, IBD), serta gejala intoleransi laktosa (Kerry et al., 2018; Nagpal et al., 2012). Selain itu, probiotik juga dilaporkan memiliki aktivitas anti-inflamasi, anti-alergi, dan antikarsinogenik, serta berpotensi membantu menormalkan kadar kolesterol dan tekanan darah (Banerjee et al., 2018; Kerry et al., 2018; Nagpal et al., 2012). Perkembangan penelitian menunjukkan adanya keterkaitan antara probiotik dan kesehatan mental melalui modulasi poros usus–otak (*gut–brain axis*), sehingga membuka peluang pengembangan psikobiotik sebagai pendekatan terapeutik baru untuk gangguan neuropsikiatri (Banerjee et al., 2018).

Keberhasilan probiotik dalam memberikan manfaat kesehatan sangat bergantung pada viabilitasnya (Liu et al., 2025). Sesuai dengan pedoman FAO/WHO, strain probiotik harus tetap hidup selama masa simpan produk dan mampu bertahan melewati saluran pencernaan bagian atas hingga mencapai lokasi targetnya agar dapat memberikan efek kesehatan yang diharapkan. Oleh karena itu, jumlah probiotik hidup perlu dipertahankan pada tingkat terapeutik minimum, yaitu sekurang-kurangnya 10^6 CFU/g selama masa simpan produk (Neffe-Skocinska et al., 2018; Terpou et al., 2019). Namun, mempertahankan viabilitas probiotik masih menjadi tantangan teknologi yang signifikan karena mikroorganisme ini rentan terhadap berbagai stres lingkungan selama pengolahan pangan, seperti perlakuan panas, *spray drying*, dan pembekuan, serta faktor-faktor yang merugikan selama penyimpanan, termasuk aktivitas air yang tinggi, paparan oksigen, dan keasaman matriks yang ekstrem (Kim et al., 2026; Terpou et al., 2019; Wang & Zhong, 2024). Selain itu, probiotik juga harus mampu bertahan terhadap kondisi saluran pencernaan yang keras, terutama keasaman lambung yang tinggi dan keberadaan garam empedu di usus halus (Wang & Zhong, 2024). Kondisi-kondisi tersebut menjadikan pengembangan teknologi preservasi dan enkapsulasi yang efektif sebagai aspek penting dalam menjamin viabilitas dan efektivitas probiotik.

Untuk mengurangi kehilangan viabilitas tersebut, pati termodifikasi dan pati resisten telah banyak dikembangkan sebagai bahan pembawa probiotik dalam sistem enkapsulasi dan imobilisasi (Terpou et al., 2019; Wang & Zhong, 2024). Sistem berbasis pati ini, termasuk granula berpori yang dimodifikasi secara enzimatis, mampu membentuk penghalang fisik yang melindungi sel probiotik dari berbagai stres lingkungan sehingga meningkatkan kelangsungan hidupnya selama penyimpanan maupun simulasi pencernaan (Wang & Zhong, 2024). Selain berfungsi sebagai pelindung fisik, pati termodifikasi juga dapat bertindak sebagai prebiotik yang secara selektif mendukung pertumbuhan dan aktivitas metabolik probiotik di kolon. Dengan demikian, penggunaannya tidak hanya meningkatkan viabilitas dan efektivitas penghantaran probiotik, tetapi juga mendukung pengembangan pangan fungsional tanpa mengurangi mutu sensori produk (Terpou et al., 2019).

Polisakarida telah menjadi salah satu kandidat utama sebagai matriks pembawa probiotik karena memiliki biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan kemampuan adhesi mukosa yang sangat baik (Wang et al., 2025; Zang et al., 2025; Xie et al., 2023). Biopolimer ini umumnya mampu membentuk struktur jaringan berpori menyerupai jaring laba-laba yang dapat menginkorporasikan sel probiotik hidup sekaligus melindunginya dari berbagai tekanan lingkungan (Xie et al., 2023; Zang et al., 2025; Savitskaya et al., 2024). Namun, polisakarida konvensional seringkali memiliki keterbatasan akibat degradasi enzimatis yang cepat di usus halus atau ketidakstabilan dalam lingkungan lambung. Sebaliknya, polisakarida termodifikasi, seperti pati resisten dan turunan selulosa termodifikasi seperti natrium karboksimetil selulosa (CMC-Na), mampu membentuk penghalang fisik yang lebih efektif serta memungkinkan pelepasan probiotik secara terarah pada lokasi tertentu di saluran pencernaan melalui respons terhadap perubahan pH maupun aktivitas enzimatis (Liu et al., 2020; Wang et al., 2025; Zang et al., 2025). Oleh karena itu, paper review ini bertujuan untuk mengulas potensi polisakarida termodifikasi, termasuk pati fermentasi, sebagai carrier probiotik yang mampu meningkatkan stabilitas, fungsionalitas, dan efektivitas penghantaran probiotik dalam sistem pangan.

2 METODE

Paper review ini disusun berdasarkan studi literatur yang diperoleh dari berbagai basis data ilmiah, termasuk Scopus, ScienceDirect, PubMed, dan Google Scholar. Pencarian literatur

dilakukan menggunakan kata kunci seperti "*modified polysaccharide*", "*modified starch*", "*fermented starch*", "*probiotic carrier*", "*encapsulation*", "*immobilization*", dan "*probiotic viability*", baik secara tunggal maupun dalam kombinasi menggunakan operator Boolean. Literatur yang dipilih terutama berupa artikel penelitian dan artikel review yang dipublikasikan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir serta relevan dengan penggunaan polisakarida termodifikasi sebagai carrier probiotik. Artikel yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan topik kajian atau tidak tersedia dalam bentuk teks lengkap yang dapat diakses peneliti dikeluarkan dari proses seleksi. Literatur yang terpilih kemudian dianalisis dan disintesis secara kualitatif untuk mengidentifikasi karakteristik berbagai jenis polisakarida termodifikasi, mekanisme perlindungan terhadap probiotik, serta pengaruhnya terhadap viabilitas dan efektivitas penghantaran probiotik dalam sistem pangan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Bahan Pembawa (*Carrier*) Probiotik yang Ideal

Probiotik merupakan mikroba yang terbukti dapat meningkatkan kesehatan jika dikonsumsi dalam jumlah yang cukup. Probiotik perlu bertahan hidup menghadapi asam lambung, asam empedu, dan berbagai enzim selama pencernaan agar dapat mencapai usus dalam keadaan hidup dan memberikan efek bermanfaat bagi tubuh. Selama penyimpanan, potensi penurunan jumlah probiotik hidup juga dapat terjadi karena adanya cekaman lingkungan seperti suhu tinggi, kondisi kering, dan kelembaban. Oleh karena itu, aplikasi probiotik seringkali menggunakan bahan pembawa (*carrier*) untuk meningkatkan viabilitas probiotik (Sharma et al. 2023). Pemilihan bahan pembawa menjadi salah satu faktor penting untuk melindungi probiotik dari kondisi ekstrim pada saluran pencernaan (asam, basa, enzim), serta meningkatkan viabilitas dan menjamin stabilitas jumlah probiotik selama pengolahan produk dan penyimpanan sebelum dikonsumsi.

Bahan pembawa probiotik yang ideal harus mampu berfungsi sebagai penghalang fisik yang efektif untuk melindungi sel probiotik dari berbagai tekanan lingkungan (Zhou et al., 2026). Perlindungan ini bertujuan tidak hanya untuk mempertahankan viabilitas probiotik selama proses pengolahan dan penyimpanan, tetapi juga untuk memastikan kemampuannya bertahan dan berkolonisasi di saluran pencernaan setelah dikonsumsi (Kim et al., 2026; Zhou et al., 2026). Selain itu, *carrier* harus mampu mempertahankan jumlah sel hidup pada tingkat terapeutik minimum, yaitu sekitar 10^6 – 10^7 CFU/g hingga akhir masa simpan produk (Bhagwat et al., 2020; Wang & Zhong, 2024). Oleh karena itu, pemilihan *carrier* memerlukan pertimbangan terhadap sejumlah karakteristik penting yang menentukan efektivitasnya dalam melindungi dan menghantarkan probiotik. Kriteria utama *carrier* probiotik yang ideal dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Ideal *Carrier* Probiotik

Karakteristik Utama	Deskripsi dan Fungsi	Referensi
Perlindungan terhadap Stres Lingkungan	Mampu melindungi sel probiotik dari berbagai stres selama proses pengolahan, seperti suhu tinggi dan dehidrasi, serta selama penyimpanan, termasuk paparan oksigen dan kelembaban.	Bhagwat et al. (2020), Pandey et al. (2023)
Ketahanan terhadap Kondisi Gastrointestinal	Mempertahankan viabilitas probiotik saat melewati lingkungan lambung yang asam	de Oliveira Filho et al. (2025), Terpou et al. (2019)

	(pH 1,5–3,5) dan paparan garam empedu di usus halus.	
Pelepasan Tertarget	Memungkinkan pelepasan probiotik secara terkendali pada lokasi target, terutama di usus besar atau kolon, sehingga meningkatkan efektivitas fungsionalnya.	Xie et al. (2023), Zhou et al. (2026)
Kemampuan Penempelan pada Membran Mukosa (<i>Mucoadhesive</i>)	Mendukung retensi probiotik yang lebih lama pada mukosa usus sehingga meningkatkan peluang kolonisasi dan interaksi dengan mikrobiota usus.	Wang et al. (2025), Zhou et al. (2026)
Sifat Prebiotik	Berfungsi sebagai substrat yang dapat dimanfaatkan secara selektif oleh probiotik sehingga mendukung pertumbuhan dan aktivitas metaboliknya.	Savitskaya et al. (2024); Terpou et al. (2019)
Biokompatibilitas dan Keamanan	Bersifat tidak toksik, aman untuk dikonsumsi (<i>Generally Recognized as Safe</i> , GRAS), serta tidak menimbulkan respons biologis yang merugikan.	Xie et al. (2023) Zang et al. (2025)

3.2. Polisakarida sebagai Bahan Pembawa Probiotik

Formula bahan pembawa probiotik seringkali merupakan campuran dari berbagai komponen dengan tujuan untuk memberikan perlindungan maksimal terhadap berbagai kondisi (Sharma et al. 2023). Formula tersebut diaplikasikan pada probiotik menggunakan teknologi mikroenkapsulasi untuk menghasilkan lapisan yang melindungi material inti (probiotik) sehingga meningkatkan viabilitas probiotik, umur simpan, dan pertahanan dari faktor lingkungan (suhu, enzim, pH, kelembaban). Lapisan tersebut berupa matriks gel pelindung yang terdiri dari polimer polisakarida dan/atau protein, kombinasi polisakarida-protein, serta komponen lainnya seperti bahan bioaktif, prebiotik (serat pangan, pati resisten), dan mineral (umumnya kalsium klorida). Dalam kajian ini, fokus pembahasan adalah polimer polisakarida yang umum digunakan sebagai bahan pembawa probiotik.

Polisakarida telah banyak dikembangkan sebagai bahan pembawa probiotik karena memiliki biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan kemampuan adhesi mukosa yang sangat baik (Xie et al., 2023; Zang et al., 2025). Biopolimer alami ini kaya akan gugus hidroksil dan gugus bermuatan yang memungkinkannya membentuk struktur jaringan berpori, sehingga mampu menginkorporasikan sel probiotik hidup sekaligus melindunginya dari berbagai tekanan lingkungan (Savitskaya et al., 2024; Zang et al., 2025). Selain itu, polisakarida menawarkan berbagai keunggulan, seperti ketersediaan yang melimpah, biaya yang relatif rendah, serta kemudahan modifikasi untuk menghasilkan sistem penghantaran dengan mekanisme pelepasan yang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti pH dan aktivitas enzimatik (Wang et al., 2025; Zang et al., 2025). Polisakarida yang umum digunakan sebagai pembawa probiotik dan jurnal referensi terkait dirangkum pada Tabel 2. Beberapa jenis polisakarida seperti agar, pullulan, dan gum tidak disertakan dalam kajian ini karena jumlah studi yang lebih terbatas dibandingkan polisakarida jenis lainnya.

Tabel 2. Polisakarida yang Umum Digunakan sebagai Bahan Pembawa Probiotik

Jenis Polisakarida	Keunggulan	Kelemahan	Referensi
Alginat	- Cenderung tidak larut dalam kondisi asam. - Permeabilitas yang baik untuk pertukaran udara dan nutrisi.	Struktur gel berpori memungkinkan air, asam lambung, dan fluida pencernaan lainnya untuk masuk ke dalam matriks, serta pelepasan dini probiotik.	Lopes et al. (2020)
Pektin	- Cenderung stabil pada pH rendah. - Karakteristik gel yang kaku dan resisten terhadap asam dan enzim pencernaan.	Matriks gel yang kuat berpotensi memperlambat/menyulitkan pelepasan probiotik. Stabilitas panas rendah.	Voo et al. (2011), Galvez-Jiron et al. (2025)
Kitosan	- Interaksi dengan polimer lainnya memperkuat pembentukan matriks. - Aktivitas antimikroba melindungi probiotik dari kontaminasi mikroba lainnya.	Kelarutan yang rendah pada pH netral dan basa berpotensi menyulitkan proses formulasi dan pembentukan matriks dengan komponen probiotik.	Obradovic et al. (2015), Wu et al. (2016)
Selulosa	- Resisten terhadap asam dan enzim pencernaan. - Produk turunan tersedia komersial untuk peningkatan kemampuan sebagai pembawa probiotik.	- Kelarutan yang rendah. - Sulit membentuk gel tanpa perlakuan lainnya.	Dafe et al. (2017), Li et al. (2017), Pato et al. (2022)
Pati dan Maltodekstrin	- Mudah dimodifikasi dan dikombinasikan dengan komponen lainnya untuk menghasilkan karakteristik yang diinginkan.	- Dapat mengalami hidrolisis oleh asam dan enzim selama melewati saluran pencernaan. - Tidak tahan perlakuan termal. - Karakteristik dapat beragam tergantung sumber. - Viskositas yang tinggi.	Ahmad et al. (2019), Benavent-Gil et al. (2018), Nofriyaldi et al. (2025)

		- Kecenderungan membentuk pecah/pori selama pengeringan dan penyimpanan.	
Pati Resisten	Resisten terhadap asam dan enzim pencernaan.	- Karakteristik bisa beragam tergantung proses modifikasi pati. - Memerlukan perlakuan lanjutan untuk menghasilkan pati resisten.	Ghani et al. (2023). Wang et al. (2024)

Polisakarida yang teridentifikasi sebagai bahan pembawa probiotik merupakan polimer alami yang dapat ditemukan di alam. Hal ini karena keunggulan utama dari polisakarida yang keamanannya telah luas didokumentasikan dan ketersediaannya yang berlimpah. Walaupun polisakarida umum digunakan sebagai pembawa probiotik, polisakarida dalam bentuk *native* (alami, tanpa modifikasi) ataupun diaplikasikan secara tunggal memiliki berbagai kelemahan. Polisakarida alami pada dasarnya adalah senyawa hidrofilik yang rentan terhadap uap air dan kelembaban. Selain itu, polisakarida merupakan senyawa dengan struktur yang heterogen yang menyulitkan standarisasi pada saat formulasi. Kelemahan-kelemahan tersebut dapat diatasi melalui modifikasi struktur dan kombinasi dengan komponen lainnya.

Aplikasi alginat sebagai pembawa probiotik dilakukan dengan pembentukan gel melalui interaksi ikatan silang (*cross-linking*) dengan ion kalsium (Ca^{2+}). Mekanisme pembentukan gel tersebut dikenal sebagai model *egg-box* dan berperan dalam sifat alginat yang tidak larut dalam kondisi asam. Kelemahan dari alginat adalah pembentukan gel yang memiliki pori-pori sehingga memungkinkan masuknya asam lambung, enzim, dan air ke dalam matriks dan merusak viabilitas dari probiotik yang dikandungnya. Selain masuknya komponen yang tidak diinginkan, porositas tinggi dari gel alginat juga berperan dalam pelepasan probiotik yang terlalu dini sehingga tidak dapat mencapai target usus. Stabilitas gel alginat juga cenderung mengalami pengurangan pada kondisi pH asam ekstrim. Untuk mengatasi hal tersebut, Lopes et al. (2020) mengkombinasikan alginat dengan kitosan sehingga menghasilkan matriks yang lebih stabil dan lebih baik dalam perlindungan probiotik terhadap kondisi penyimpanan dingin, perlakuan termal, paparan NaCl, dan pH.

Serupa dengan alginat, pektin juga dapat membentuk ikatan silang dengan ion kalsium untuk membentuk gel yang berperan sebagai pelindung probiotik dari tekanan lingkungan. Untuk memanfaatkan karakteristik pektin tersebut, maka jenis pektin yang cocok digunakan sebagai bahan pembawa probiotik adalah pektin dengan derajat esterifikasi yang rendah (*low methoxyl pectin*, LMP, DE < 50%). LMP lebih disukai karena kemudahan dalam pembuatan gel, dibandingkan dengan pektin dengan derajat esterifikasi tinggi (*high methoxyl pectin*, HMP, DE > 50%) yang memerlukan kondisi total padatan tinggi dan asam untuk membentuk gel. Gel pektin lebih unggul dalam hal stabilitas dibandingkan dengan alginat. Keunikan dari penggunaan pektin adalah resistensinya terhadap asam dan enzim pencernaan yang aktif di saluran pencernaan bagian atas, serta aktivitas prebiotik yang telah diketahui sehingga dapat menyediakan substrat yang mendukung pertumbuhan dari probiotik. Dibandingkan gel alginat, gel pektin lebih kokoh dan stabil secara mekanik dan tahan pH rendah sehingga melindungi probiotik lebih baik dan

membatasi pelepasan probiotik sebelum mencapai usus (Voo et al. 2011, Galvez-Jiron et al. 2025). Stabilitas tersebut juga meningkat dengan menambahkan kitosan melalui ikatan elektrostatis antara polianion-polikation yang meningkatkan kekokohan jaringan matriks yang dihasilkan. Di usus, pektin akan difermentasi oleh mikrobiota alami penghasil pektinase sehingga memungkinkan adanya pelepasan probiotik secara terkendali.

Kitosan telah banyak dipelajari sebagai lapisan pelindung untuk meningkatkan kestabilan gel alginat dan gel pektin melalui interaksi elektrostatis. Hal ini terutama penting untuk gel alginat yang memiliki porositas tinggi (Obradovic et al. 2015, Lopes et al. 2020). Sebagai komponen tunggal, kitosan saat ini banyak menarik perhatian karena potensi aktivitas antimikroba, prebiotik, dan berbagai efek kesehatan seperti modulasi sistem imun dan perlindungan sistem pencernaan. Berbeda dengan alginat dan pektin yang memiliki kecenderungan bermuatan negatif, kitosan tergolong sebagai poli-kation karena keberadaan gugus amina ($-NH_2$) pada strukturnya. Gugus amina tersebut berperan penting dalam aktivitas antimikroba yang dapat melindungi probiotik dari kontaminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan selama penyimpanan. Kelemahan terbesar dari kitosan adalah kelarutannya yang terbatas di dalam air dan pH netral-basa. Oleh karena itu, pencampuran kitosan dengan komponen lainnya (termasuk probiotik) perlu dilakukan dengan bantuan buffer pH asam yang dapat membatasi aplikasinya pada skala produksi. Alternatif lainnya adalah dengan memodifikasi struktur kitosan agar memiliki kelarutan pada air melalui pembentukan kitosan hidroklorida (Wu et al. 2016).

Dibandingkan dengan polisakarida lainnya, selulosa cenderung lebih terjangkau secara biaya dan dapat diperoleh dengan mudah, termasuk berbagai produk turunan selulosa yang telah dimodifikasi untuk meningkatkan kelarutannya, seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC). Selulosa dalam bentuk *native* cenderung tidak larut sehingga aplikasi yang umum pada pangan dan sistem pembawa probiotik menggunakan selulosa yang telah dimodifikasi. Walaupun ini menjadi kelemahan dari selulosa, namun produk modifikasi selulosa saat ini juga sudah ditemukan dan diperjualbelikan secara komersial. Selulosa juga resisten terhadap asam dan enzim pencernaan seperti halnya pektin, serta mengalami degradasi di usus oleh fermentasi mikrobiota alami sehingga dapat digunakan untuk sistem pelepasan probiotik secara terkendali (Pato et al. 2022). Modifikasi pada porositas gel selulosa juga telah diteliti untuk mengendalikan pelepasan probiotik agar mencapai daerah usus yang diinginkan untuk aktivitas probiotik (Dafe et al. 2017, Li et al. 2017).

Pati dan maltodekstrin juga dapat digunakan sebagai bahan pembawa probiotik, walaupun berpotensi untuk mengalami degradasi oleh asam dan enzim selama melewati saluran pencernaan. Pada kasus pati, sumber tanaman menjadi penting karena dapat mempengaruhi karakteristik struktur dalam pembentukan gel dan porositas yang mempengaruhi kemampuan pati dalam memerangkap probiotik (Benavent-Gil et al. 2018). Maltodekstrin yang beredar secara komersial juga dapat ditemukan dengan berat molekul yang beragam sehingga perlu diketahui spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi terbaik sebagai bahan pembawa probiotik. Pati resisten merupakan komponen turunan pati yang telah dimodifikasi agar lebih resisten terhadap asam dan enzim pencernaan (Wang et al. 2024). Selain itu, pati resisten juga memiliki fungsi sebagai prebiotik. Pati resisten dalam bentuk tidak tercerna akan mencapai usus besar dan difermentasi oleh probiotik dan mikrobiota usus menghasilkan asam lemak rantai pendek (asetat, propionat, dan butirat) yang bermanfaat bagi kesehatan usus. Hal ini berpotensi dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang mengkombinasikan simbiosis prebiotik-probiotik.

3.2. Polisakarida Terfermentasi: Tantangan dan Potensi Aplikasi Polisakarida asal Fermentasi Tapai sebagai Bahan Pembawa Probiotik

Polisakarida *native* memiliki berat molekul yang besar yang menghasilkan gel dengan ukuran *sphere* yang besar dan viskositas tinggi yang dapat menghambat aplikasinya dalam produk pangan. Ukuran *sphere* yang besar terkadang meninggalkan *mouthfeel* kasar (*coarse*) yang dapat dideteksi oleh konsumen. Viskositas yang tinggi menyulitkan proses *pumping* dan *piping* untuk proses kontinu pada skala industri. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode modifikasi struktur untuk menghasilkan polisakarida dengan berat molekul yang kecil secara terkendali. Modifikasi tersebut dapat dilakukan menggunakan metode enzimatis, kimia, dan fisik. Metode kimia memerlukan kondisi reaksi yang keras (*harsh*) melalui penggunaan asam dan basa kuat yang dapat merusak peralatan produksi dan berpotensi menghasilkan produk toksin. Berat molekul dari produk dihasilkan juga cenderung beragam dan tidak dapat dikendalikan. Sebagai alternatif, metode enzimatis menjadi metode modifikasi yang disukai karena spesifik memotong polisakarida sehingga produk yang dihasilkan lebih beragam dan membatasi produk turunan yang tidak diinginkan. Modifikasi polisakarida secara fisik, seperti halnya metode kimia, terbatas dalam pengendalian berat molekul yang dihasilkan, tetapi memiliki kelebihan cenderung aman digunakan. Walaupun belum banyak dipelajari, fermentasi juga dapat menjadi metode modifikasi polisakarida.

Fermentasi merupakan salah satu alternatif dari modifikasi pati yang mengkombinasikan reaksi kimia dan enzimatis. Berbagai produk fermentasi substrat tinggi pati dapat ditemukan di Indonesia. Dalam kajian ini, pembahasan akan difokuskan fermentasi tapai singkong. Produksi tapai singkong melibatkan bakteri asam laktat (BAL) dan khamir yang memproduksi asam organik, enzim dan gas, yang membantu merestrukturisasi pati sehingga meningkatkan daya cerna, bioaktivitas, kemampuan mengembang, kelarutan, dan reologi (Joshi et al. 2026). Berdasarkan penelitian sebelumnya, fermentasi tidak hanya meningkatkan jumlah amilosa pada fermentasi sereal, namun juga dapat menurunkan viskositas, kemampuan retrogradasi, menurunkan tingkat kepecahan, dan kemampuan menyerap air (Batista et al. 2020; Zhang et al. 2025). Sifat-sifat seperti ini dapat mendukung pemanfaatan pati fermentasi sebagai bahan pembawa untuk probiotik.

Meskipun pati terfermentasi memiliki potensi sebagai pembawa probiotik, namun beberapa tantangan terkait proses perlu dieksplorasi lebih lanjut. Kontrol terhadap proses fermentasi perlu dilakukan untuk mengurangi metabolit berlebih yang tidak diinginkan dan menjaga agar struktur pati tetap optimal mendukung viabilitas probiotik. Selain itu perubahan sifat fisik pati juga perlu diperhatikan, yang dapat memengaruhi tekstur dan daya simpan produk probiotik. Fermentasi juga menghasilkan perubahan sensori yang dapat memengaruhi preferensi konsumen, sehingga kombinasi pati terfermentasi dengan matriks lain secara komposit dapat menjadi strategi untuk mengatasi keterbatasan ini. Analisis karakteristik pati terfermentasi juga diperlukan, meliputi kemampuan membentuk matriks pelindung, ketahanan terhadap berbagai tekanan lingkungan (asam, basa, suhu, kelembaban, komposisi gas atmosfer), stabilitas matriks yang terbentuk, dan interaksinya dengan probiotik dan komponen lainnya yang dapat ditemukan dalam pangan. Fermentasi juga dapat menghasilkan berbagai komponen bioaktif, seperti produksi oligosakarida, alkohol, asam laktat, dan senyawa fenolik (Susilawati et al. 2024). Beberapa senyawa fenolik dapat berperan dalam peningkatan viabilitas dari probiotik, meningkatkan kapasitas adhesi ke mukosa usus, dan berperan dalam peningkatan efek kesehatan (de Souza et al. 2019). Hal ini menunjukkan potensi penelitian ke depan untuk memanfaatkan polisakarida asal tapai singkong sebagai bahan pembawa probiotik yang potensial, dengan mempertimbangkan perlunya beberapa analisis

karakteristik kimia dan kestabilan interaksi dengan probiotik sebagai dasar modifikasi dan kombinasi dengan komponen lain (protein atau polisakarida prebiotik) yang diperlukan.

4 KESIMPULAN

Probiotik merupakan mikroorganisme hidup yang mempunyai manfaat kesehatan, antara lain menjaga keseimbangan mikrobiota usus dan manfaat kesehatan lainnya. Namun efektivitas probiotik sangat tergantung pada viabilitasnya, yang dipengaruhi oleh stres lingkungan selama proses, penyimpanan, hingga perjalanan melalui saluran pencernaan. Oleh karena itu pemilihan dan pengembangan carrier probiotik yang tepat menjadi krusial untuk mempertahankan jumlah probiotik hidup pada level yang disarankan. Polisakarida termodifikasi, seperti pati terfermentasi, dapat menjadi kandidat unggul karena karakteristik terkait biokompatibilitas, biodegradabilitas, kemampuan adhesi mukosa, serta potensi prebiotiknya. Modifikasi fisik, kimia, enzimatis dan fermentasi memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan yang dimiliki oleh polisakarida “native”, yang cenderung memiliki berat molekul lebih besar, viskositas tinggi dan *mouthfeel* yang kasar. Fermentasi, yang melibatkan bakteri asam laktat dan khamir telah terbukti mampu meningkatkan sifat fungsional pati, antara lain daya cerna, bioaktivitas, kelarutan, dan reologi, sekaligus menurunkan retrogradasi dan viskositas.

Meskipun pati terfermentasi memiliki banyak sifat yang menguntungkan, sejumlah tantangan dalam pemanfaatannya sebagai carrier probiotik perlu diatasi, termasuk kontrol terhadap proses fermentasi untuk mencegah metabolit berlebih, menjaga stabilitas fisik dan tekstur produk, serta mengatasi perubahan sensori yang dapat memengaruhi penerimaan konsumen. Kombinasi polisakarida fermentasi dengan matriks lain secara komposit dapat menjadi strategi untuk meningkatkan efektivitasnya. Secara keseluruhan polisakarida termodifikasi memiliki potensi besar sebagai carrier probiotik yang mampu meningkatkan stabilitas, fungsionalitas, dan efektifitas penghantaran probiotik dalam saluran pencernaan. Namun demikian, penelitian menyeluruh perlu dilakukan untuk mengoptimalkan proses serta memastikan keamanan dan penerimaan konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., Gani, A., Hamed, F., & Maqsood, S. (2019). Comparative study on utilization of micro and nano sized starch particles for encapsulation of camel milk derived probiotics (*Pediococcus acidolactici*). *LWT-Food Science and Technology*, 110, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.078>.
- Banerjee, D., Jain, T., Bose, S., & Bhosale, V. (2019). *Importance of probiotics in human health*. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Functional Food and Human Health* (pp. 539–554). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1123-9_23
- Batista, R.D., de Cássia Sousa Mendes, D., Morais, C.C., Thomaz, D.V., Ascheri, D.P.R., Damiani, C., & Asquiere, E.R. (2020). Physicochemical, functional and rheological properties of fermented and non-fermented starch from canary seed (*Phalaris canariensis*). *Food Hydrocolloids*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105346>.
- Benavent-Gil, Y., Rodrigo, D., & Rosell, C.M. (2018). Thermal stabilization of probiotics by adsorption onto porous starches. *Carbohydrate Polymers*, 197, 558-564. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.044>.
- Bhagwat, A., Bhushette, P., & Annapure, U. S. (2020). Spray drying studies of probiotic *Enterococcus* strains encapsulated with whey protein and maltodextrin. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 9, 33. <https://doi.org/10.1186/s43088-020-00061-z>
- Dafe, A., Etemadi, H., Zarredar, H., & Mahdavinia, G.R. (2017). Development of novel

- carboxymethyl cellulose/k-carrageenan blends as an enteric delivery vehicle for probiotic bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.016>.
- de Souza, E. L., de Albuquerque, T. M. R., dos Santos, A. S., Massa, N. M. L., Alves, J. L. B. (2019). Potential interactions among phenolic compounds and probiotics for mutual boosting of their health-promoting properties and food functionalities -a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (10), 1645-1659. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1425285>.
- de Oliveira Filho, J. G., Egea, M. B., Zhang, W., Pandi, A., Sivieri, K., Salgaço, M. K., Sentanin, L., Braga, A. R. C., Jones da Silva, M., & Mattoso, L. H. C. (2025). Polymeric nanofibers as advanced probiotic carriers: Production strategies, functional performance, and emerging applications. *Food Bioscience*, 73, 107684. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107684>
- Galves-Jiron, F., Tang, X., Gasaly, N., Poncelet, D., Wandersleben, T., Drusch, S., Acevedo, F., & de Vos, P. (2025). Pectin-based encapsulation systems for the protection of beneficial bacterial species and impact on intestinal barrier function in vitro. *Food Hydrocolloids*, 160 (110765), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110765>.
- Gani, A., Akther, G., Ashwar, B.A., Jhan, F., & Shah, A. (2023). Resistant starch as a novel carrier for delivery of probiotics exploring effectiveness of two different strategies of encapsulation. *Starch - Starke*. 75 (7-8), 2100285. <https://doi.org/10.1002/star.202100285>.
- FAO/WHO. (2002). *Guidelines for the evaluation of probiotics in food: Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food*. London, Ontario, Canada, April 30–May 1, 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization.
- Joshi, T., Pathania, G., Samandeep, Challana, V., Kaur, G., Bobade, H., & Gupta, A. (2026). Mechanistic insights into fermentation induced starch biotransformation and its food functionality with nutritional relevance. *Discover Food* 6, 143. <https://doi.org/10.1007/s44187-026-00854-8>.
- Kerry, R. G., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(3), 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
- Kim, H., Haque, M. A., Razzak, M. A., Jang, M. J., Song, S., & Ku, S. (2026). Probiotic development strategy centered on stability and regulatory considerations. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 25, e70320. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70320>
- Li, W., Zhu, Y., Ye, F., Li, B., Luo, X., & Liu, S. (2017). Probiotics in cellulose houses: Enhanced viability and targeted delivery of *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocolloids*, 62, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.019>.
- Liu, H., Xie, M., & Nie, S. (2020). Recent trends and applications of polysaccharides for microencapsulation of probiotics. *Food Frontiers*, 1(1), 45–59. <https://doi.org/10.1002/fft2.11>
- Liu, X., Mao, B., Tang, X., Zhang, Q., Zhao, J., Chen, W., & Cui, S. (2025). Bacterial viability retention in probiotic foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(32), 7964–7986. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2488228>
- Lopes, L.A.A., Carvalho, R.S.F., Magalhaes, N. S. S., Madruga, M. S., Athayde, A. J. A. A., Portela, I. A., Barao, C. E., Pimentel, T. C., Magnani, M., & Stamford, T.C.M. (2020). Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-05 and incorporation in vegan milks:

- Physicochemical characteristics and survival during storage, exposure to stress conditions, and simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 135 (109295), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109295>.
- Nagpal, R., Kumar, A., Kumar, M., Behare, P. V., Jain, S., & Yadav, H. (2012). Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: A review. *FEMS Microbiology Letters*, 334(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2012.02593.x>
- Neffe-Skocińska, K., Rzepkowska, A., Szydłowska, A., & Kołożyn-Krajewska, D. (2018). Trends and possibilities of the use of probiotics in food production. In A. M. Grumezescu (Ed.), *Alternative and Replacement Foods* (pp. 65–94). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00003-5>
- Nofriyaldi, A., Fakhirah, D. S., & Nurzaman, M.H. (2025). The effect of maltodextrin concentration variations on the microencapsulation of probiotics from Manonjaya salak fruit juice (*Salacca zalacca* (Gaert.) Voss). *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 13 (4), 381-393. <https://doi.org/10.22146/jfps.24203>.
- Obradovic, N. S., Krunić, T. Z., Trifković, K. T., Bulatović, M. L., Rakin, M. P., Rakin M. B., & Bugarski, B. M. (2015). Influence of chitosan coating on mechanical stability of biopolymer carriers with probiotic starter culture in fermented whey beverages. *International Journal of Polymer Science*, 1 (732858), 1-8. <https://doi.org/10.1155/2015/732858>.
- Pandey, S., Premjit, Y., Khuntia, A., Kadival, A., & Mitra, J. (2023). Development of probiotic-loaded calcium alginate-maltodextrin microparticles based on electrohydrodynamic technique. *Powder Technology*, 428, 118808. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118808>
- Pato, U., Ayu, D. F., Riftyan, E., Restuhadi, F., Pawenang, W. T., Firdaus, R., Rahma, A., & Jaswir, I. (2022). Cellulose microfiber encapsulated probiotics: viability, acid, and bile tolerance during storage at different temperature. *Emerging Science Journal*, 6 (1), 106-117. <http://doi.org/10.28991/ESJ-2022-06-01-08>.
- Savitskaya, I., Zhantlessova, S., Kistaubayeva, A., Ignatova, L., Shokatayeva, D., Sinyavskiy, Y., Kushugulova, A., & Digel, I. (2024). Prebiotic cellulose–pullulan matrix as a “vehicle” for probiotic biofilm delivery to the host large intestine. *Polymers*, 16(1), 30. <https://doi.org/10.3390/polym16010030>
- Sharma, H., Sharma, S., Bajwa, J., Chugh, R., & Kumar, D. (2023). Polymeric carriers in probiotic delivery system. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5 (100301), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100301>.
- Susilawati, S., Amalina, N., Muslima, M., Hidayat, D., Febriansyah, M., Pazira, Z., Fithriyyah, H. (2024). Analisis kualitatif dan kuantitatif pada tapai singkong dan beras ketan. *Journal of Food Security and Agroindustry*. 2 (1): 17-26. <https://doi.org/10.58184/jfsa.v2i1.281>.
- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). *Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value*. *Nutrients*, 11(7), 1591. <https://doi.org/10.3390/nu11071591>
- Voo, W. P., Ravindra, P., Tey, B.T., & Chan, E.S. (2011). Comparison of alginate and pectin based beads for production of poultry probiotic cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 111 (3), 294-299. <http://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2010.11.010>.
- Wang, J. L., Yeh, C.H., Huang, S. H., Wu, L.S.H., & Chen, M.C.M. (2024). Effects of resistand-starch-encapsulated probiotic cocktail on intestines damaged by 5-fluorouracil. *Biomedicines*, 12 (8), 1912. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12081912>.
- Wang, Z.-D., Zhang, W., & Liang, T.-X. (2025). Advancements in oral delivery systems for

- probiotics based on polysaccharides. *Polymers*, 17(2), 144. <https://doi.org/10.3390/polym17020144>
- Zang, J., Yin, Z., Ouyang, H., Liu, Y., Liu, Z., & Yin, Z. (2025). Advances in the preparation, applications, challenges, and future trends of polysaccharide-based gels as food-grade delivery systems for probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24, e70111. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70111>
- Zhang, J., Xu, X., Chen, M., Bai, B., Yang, Y., Fan, S., & Bo, T. (2025). Study on the changes of the structure and physiochemical properties of millet starch induced by *Pediococcus acidilactici* fermentation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 321(4). 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146436>.
- Zhou, Y., Xue, K., Li, Y., & Huang, H. (2026). Various strategies for intelligent intestinal protection, adhesion, and survival of probiotics. *Food Wellness*, 2, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.foodw.2026.100047>
- Xie, A., Zhao, S., Liu, Z., Yue, X., Shao, J., Li, M., & Li, Z. (2023). Polysaccharides, proteins, and their complex as microencapsulation carriers for delivery of probiotics: A review on carrier types and encapsulation techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124784. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124784>