

Literatur Review : Modifikasi Pati Enzimatis Menggunakan Ekso- β -Amilase: Mekanisme Reaksi, Dampak Terhadap Sifat Fungsional Pati dan Aplikasinya pada Produk Pangan

Melda Putri Rahayu¹, Ashila Maziyya Fairuz Firdaus¹, Arlita Nada Putri¹, Sabila Anisa Rullia¹, Ani Nuraini¹, Amanda Artatia Putri¹, Alisyia Ida Nata¹, Titi Rohmayanti¹

meldap48@gmail.com, ashilafirdauss@gmail.com, arlitanadaputri01@gmail.com,
rsabilaanisa@gmail.com, aninrn3113@gmail.com, mandaartatia9.8@gmail.com,
danataalisya@gmail.com, titirohmayanti1@unida.ac.id

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Ilmu Pangan Halal, Universitas Djuanda, Jl. Tol Ciawi No. 1, Bogor 16720

ABSTRAK

Modifikasi pati secara enzimatis berarti memodifikasi struktur internal pati dengan memanfaatkan efek katalitik spesifik amilase untuk meningkatkan beberapa sifat fisikokimia pati dengan mengubah struktur molekul pati. β -amilase adalah enzim ekso yang menunjukkan spesifitas tinggi untuk memutus ikatan 1,4- α -glukosidik pati dari ujung non-pereduksi sehingga menghasilkan maltosa. Artikel ini akan memberikan pemahaman mendalam mengenai reaksi dan dampak terhadap sifat fisikokimia pati serta sifat fungsional pati hasil modifikasi. Desain systematic literature review metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) digunakan pada penelitian ini, yang diklasifikasikan dalam 4 tahapan, yaitu identifikasi, screening, mempertimbangkan kelayakan, dan menganalisis hasil berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Kelompok ekso- β -amilase bekerja dengan cara mengikat ujung nonreduksi dari rantai pati menjadi sebuah kantong pada strukturnya, hal ini berbeda dengan endo- α -amilase yang bekerja membentuk sebuah cekungan. Enzim β -amilase memperpendek ikatan α -1,4 pada molekul pati rantai lurus dengan memanfaatkan aktivitas tipe ekso sehingga pada akhirnya mengurangi asosiasi antarmolekul dari bagian rantai lurus amilosa, yang dikenal sebagai penyebab utama retrogradasi pati. β -amilase digunakan dalam proses penghancuran dan pembuatan bir karena kemampuannya menghidrolisis pati biji bijian dan menghasilkan maltose. β -amilase

dimanfaatkan dalam produksi sirup kaya maltosa. Enzim amilase berperan penting dalam tahap likuifikasi pada pembuatan sirup glukosa.

Kata Kunci: β -amilase, Modifikasi Pati, Pati, Enzim, Modifikasi Enzimatis, Dampak ekso- β -amilase, Pengaplikasian ekso- β -amilase

PENDAHULUAN

Pati merupakan salah satu sumber utama karbohidrat dalam bahan pangan dan banyak ditemukan pada biji-bijian sebagai cadangan energi bagi tanaman. Secara kimia, pati tersusun atas dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Kedua komponen tersebut berperan dalam membentuk struktur granula pati melalui ikatan hidrogen. Amilosa merupakan polimer berantai lurus yang tersusun dari unit-unit glukosa dengan ikatan α -1,4-glikosid dan dikenal sebagai fraksi yang mudah larut. Sebaliknya, amilopektin memiliki struktur bercabang yang tersusun dari rantai glukosa dengan ikatan α -1,4-glikosid serta ikatan percabangan α -1,6-glikosid, sehingga digolongkan sebagai fraksi yang tidak larut (Haryon & Rusdi, 2023).

Pati merupakan komponen yang sangat berperan dalam berbagai aplikasi industri pangan. Namun demikian, pati alami umumnya memiliki keterbatasan sifat fisikokimia, antara lain kecenderungan retrogradasi yang tinggi serta karakteristik viskositas yang kurang stabil. Oleh sebab itu, dilakukan proses modifikasi pati untuk memperbaiki dan mengarahkan sifat fungsional serta profil amilografinya, sehingga dihasilkan pati dengan tingkat retrogradasi yang lebih rendah, kestabilan yang lebih baik terhadap pemanasan, serta sifat lain yang sesuai dengan kebutuhan formulasi produk pangan (Nadhira & Cahyana, 2023). Secara konvensional, modifikasi pati sering menggunakan metode fisik dan kimia yang beresiko meninggalkan residu dan kurang ramah lingkungan. Seiring berjalannya waktu, modifikasi pati mengalami pembaruan metode salah satunya metode enzimatis.

Modifikasi pati secara enzimatis berarti memodifikasi struktur internal pati dengan memanfaatkan efek katalitik spesifik amilase untuk meningkatkan beberapa sifat fisikokimia pati dengan mengubah struktur molekul pati (Jia et al., 2024).

Modifikasi pati secara enzimatis memiliki sejumlah keunggulan, antara lain spesifisitas aktivitas enzim dalam mereduksi panjang rantai amilosa, sifat proses yang lebih ramah lingkungan, kemampuan menghasilkan rendemen yang tinggi, serta tingkat keamanan yang terjamin untuk aplikasi pangan. Salah satu enzim yang umum digunakan dalam proses modifikasi pati enzimatis adalah ekso- β -amilase.

β -amilase adalah enzim ekso yang menunjukkan spesifitas tinggi untuk memutus ikatan 1,4- α -glukosidik pati dari ujung non-pereduksi sehingga menghasilkan maltosa. β -amilase mempunyai peran penting dalam organisme yang tersebar luas di alam khususnya pada tumbuhan dan mikroorganisme. Pada tumbuhan, β -amilase berperan dalam perkembangan buah, pematangan, perkecambahan biji dan respons terhadap stress abiotik. Tumbuhan yang sering digunakan sebagai sumber produksi β -amilase di bidang industri yaitu ubi jalar, kedelai dan tanaman jelai. Namun, β -amilase yang bersumber dari tumbuhan memiliki beberapa kekurangan yaitu, proses persiapan yang kompleks, stabilitas penyimpanan yang rendah, biaya produksi tinggi, termasuk kebutuhan akan biji-bijian dalam jumlah yang besar, hal tersebut membatasi penerapan lebih lanjut (Duan et al., 2021).

Alternatif lain memperoleh enzim β -amilase adalah mikroorgasme. β -amilase *Bacillus megaterium* diidentifikasi memiliki kapasitas penghasil β -amilase. Mikroorganisme lain penghasil β -amilase meliputi bakteri Gram-positif, halofi dan termofil. β -amilase mikroba secara struktural mirip dengan β -amilase tumbuhan. Dibandingkan β -amilase tumbuhan, β -amilase mikroorganisme memiliki beberapa keunggulan diantaranya, proses produksi yang tidak terpengaruh oleh musim dan iklim, proses hilirnya sederhana, produk seragam dan lebih stabil. Bakteri ini juga dapat mencerna pati mentah yang dapat meningkatkan potensi aplikasi di bidang pengolahan pati (Duan et al., 2021).

Meskipun mekanisme kerja ekso- β -amilase telah diketahui secara umum, artikel ini akan memberikan pemahaman mendalam mengenai reaksi dan dampak terhadap sifat fisikokimia pati serta sifat fungsional pati hasil modifikasi.

METODE PENELITIAN

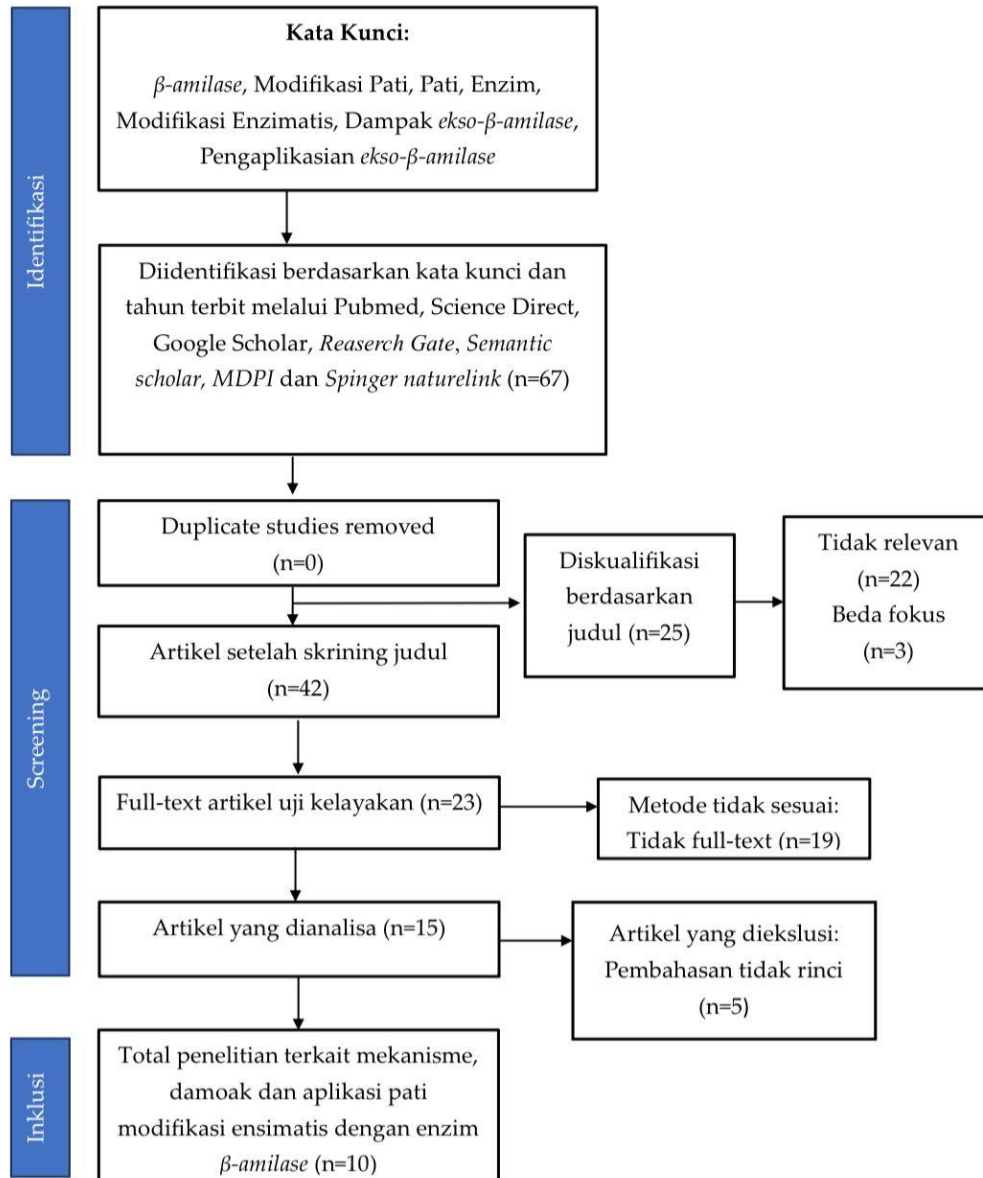
Desain systematic literature review metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) digunakan pada penelitian ini, yang diklasifikasikan dalam 4 tahapan, yaitu identifikasi, screening, mempertimbangkan kelayakan, dan menganalisis hasil berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan.

Hanya artikel *full-text* yang mengkaji tentang modifikasi pati enzimatis menggunakan *ekso- β -amilase*: mekanisme reaksi, dampak terhadap sifat fungsional pati dan aplikasinya pada produk pangan. Sementara artikel yang berupa abstrak, opini, dan artikel populer dikecualikan. Penelitian ini harus mengetahui modifikasi pati enzimatis menggunakan *ekso- β -amilase*. Hasil dari analisis ini berupa dampak terhadap sifat fungsional pati dan aplikasinya pada produk pangan.

Tahap awal proses identifikasi dan pencarian literatur dengan menggunakan beberapa database jurnal elektronik seperti Google Scholar, Science Direct, Pubmed, Reaserch Gate, Semantic scholar, MDPI dan Springer naturelink. Database yang ditelusuri merupakan publikasi selama 5 tahun terakhir dengan kata kunci pertama " *β -amilase*", kata kunci kedua "Modifikasi Pati", kata kunci ketiga "Pati", Kata Kunci empat "Enzim", kata kunci kelima "Modifikasi Ezimatis" Kata kunci keenam "*Dampak ekso- β -amilase*", dan kata kunci ketujuh adalah "Pengaplikasian *ekso- β -amilase*".

Kemudian dilakukan tahap *screening*, jurnal disaring berdasarkan judul dan abstrak yang relevan tanpa meninjau hasil akhir. Kemudian dilakukan screening tahap kedua untuk menyaring kelayakan artikel. Pada tahap ini, jurnal yang bukan merupakan jurnal *full-text*, akan dieliminasi atau tidak digunakan. Jurnal full text yang lolos selanjutnya dianalisa dengan membaca jurnal lengkapnya. Artikel ataupun jurnal yang tidak membahas tentang modifikasi pati enzimatis menggunakan *ekso- β -amilase*, atau di luar topik yang diinginkan akan dieliminasi atau tidak digunakan. Pada tahapan ini, artikel ataupun jurnal yang tidak sesuai dengan ketentuan dari

kriteria inklusi dan tidak mencantumkan pemaparan yang tepat dari modifikasi pati enzimatis menggunakan ekso- β -amilase akan dieliminasi dan tidak dilakukan analisis lebih lanjut.



Gambar 1. Diagram alir metode PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penulis	Desain Penelitian	Populasi / Sampel	Hasil Utama
Xinge Jia, et al. (2024)	Penelitian eksperimental	Pati jagung (Maize starch) yang	Modifikasi ganda meningkatkan derajat

	modifikasi ganda enzimatik	dimodifikasi dengan β -amilase dan α -glukosidase.	percabangan (4,95-7,10%) dan kristalinitas relatif (20,41-30,20%), serta membuat struktur pati menjadi lebih padat.
Xuguo Duan, et al. (2021)	Penelitian eksperimental karakterisasi biokimia dan struktural.	Enzim β -amilase baru dari bakteri <i>Bacillus aryabhatai</i> GEL-09.	Enzim ini memiliki aktivitas spesifik tertinggi (3798,9 U/mg) di antara β -amilase mikroba mesotermal yang pernah dilaporkan dan mampu menghasilkan rendemen maltosa hingga 87% dari pati.
Julia Compart, et al. (2023)	Tinjauan Pustaka mengenai modifikasi pati.	Berbagai teknik modifikasi pati (fisik, kimia, enzimatik) dan aplikasinya di industri.	Modifikasi pati (seperti dengan β -amilase) meningkatkan kelarutan pati, namun menurunkan kapasitas pembengkakan dan viskositas pasta dibandingkan pati alami.
Awildan El Fath, et al. (2024)	Eksperimen Laboratorium menggunakan	Kulit buah naga merah (kandungan pati 11,07%),	Kondisi terbaik diperoleh pada variasi enzim 1%:5% dengan

	metode hidrolisis enzimatis dengan variasi konsentrasi enzim dan waktu.	enzim α -amilase, dan β -amilase.	waktu 5 hari, menghasilkan kadar glukosa 62,2%.
Merkuriana (2023)	Eksperimen Laboratorium dengan 2 tahap utama: gelatinisasi dan sakarifikasi.	Beras ketan giling (kadar pati 83,36%) dan enzim amilase dari ekstrak kasar kecambah kedelai putih.	Kondisi terbaik ditemukan pada suhu 65°C, waktu hidrolisa 2,5 jam, dan pH enzim 5,7 dengan konversi hasil 39,99%.
Ranjana Das & Arvind M. Kayastha (2019)	Tinjauan ilmiah mengenai sifat umum dan mekanisme β -amilase.	Enzim β -amilase dari berbagai sumber tumbuhan dan mikroba.	β -amilase adalah enzim eksogen yang memutus ikatan α -1,4-glikosidik dari ujung non-reduksi untuk menghasilkan maltosa, dan sangat penting dalam industri makanan serta farmasi.
Zorn, H., et al. (2025)	Evaluasi keamanan ilmiah (scientific opinion)	Populasi Eropa di 27 negara, mencakup 6 kelompok umur: bayi, balita, anak-	Enzim β -amylase dari barli aman digunakan dalam 6 proses manufaktur pangan (termasuk produk

	berdasarkan penilaian paparan diet revisi untuk perluasan penggunaan enzim	anak, remaja, dewasa, dan lansia.	sereal dan analog susu nabati) karena Tingkat paparannya jauh lebih rendah dibandingkan konsumsi barli secara alami
Purwadi, R., Lestari, D., Lohoo, C.A., dan Tirtaadi, J.L. (2020)	Penelitian eksperimental laboratorium untuk menguji variabel ukuran partikel dan rasio padat-cair dalam proses hidrolisis.	Ubi jalar (SPs) yang dibeli dari pasar lokal, disiapkan dalam 3 bentuk: potongan dadu 0,5 cm, parutan, dan bubur halus.	Ukuran ubi yang lebih kecil (luas permukaan lebih besar) dan rasio padat-cair yang rendah meningkatkan mobilitas enzim dan efisiensi hidrolisis. Hidrolisis menggunakan enzim endogen dapat menghemat hampir setengah dari kebutuhan enzim eksternal.
Hutabarat, D.J.C., dan Stevensen, J. (2023)	Review literatur (ulasan ilmiah) mengenai modifikasi pati secara enzimatis	Berbagai jenis pati (seperti pati jagung, singkong, kentang, dan gandum) serta berbagai enzim pengubah pati (α -	Modifikasi enzimatis lebih unggul dibanding metode kimia karena lebih spesifik, kondisi reaksi ringan, dan ramah lingkungan (eco-

		amilase, β -amylase, glucoamylase, pullulanase, dll.)	friendly). Proses ini secara signifikan mengubah sifat fisikokimia pati seperti kapasitas pengikatan air, kelarutan, kekuatan gel, dan viskositas sesuai kebutuhan industri pangan.
Phieter, C.A., Ruth, C., dan Tjandra, P. (2020)	Penelitian eksperimental laboratorium (Original Research) mengenai karakterisasi enzim pemecah pati pada malt serelia.	Malt yang berasal dari tiga jenis biji-bijian: sorgum, jagung, dan kacang hijau yang dikecambahkan selama 2 hari.	Ekstrak enzim dari ketiga malt menunjukkan aktivitas pemecah pati yang dipengaruhi oleh pH dan suhu. Aktivitas enzim tertinggi ditemukan pada pH 5 (buffer sitrat) untuk malt kacang hijau dan jagung, serta pH 5,5 untuk malt sorgum. Suhu optimum untuk aktivitas enzim berada pada rentang 30 °C hingga 40 °C.

Proses Mekanisme Ekso- β -amilase

Mekanisme reaksi perubahan konfigurasi anomerik dari bentuk α menjadi β merupakan peran enzim β -amilase dalam terjadinya hidrolisis pati. Secara keseluruhan teridentifikasi bahwa β -amilase bekerja pada ujung nonreduksi rantai polimer pati atau rantai polimer turunan pati melalui suatu mekanisme secara ekso. Berdasarkan produk yang dihasilkan oleh β -amilase maka terdapat dua kelompok, yaitu kelompok yang dapat memproduksi β -maltosa merupakan kelompok β -amilase dan yang dapat memproduksi β -D-glukosa merupakan kelompok yang lebih dikenal sebagai glukoamilase. Kelompok ekso- β -amilase bekerja dengan cara mengikat ujung nonreduksi dimulai dari rantai pati hingga menjadi sebuah kantong pada strukturnya merupakan cara kerja yang dilakukan oleh kelompok ekso- β -amilase, cara kerja tersebut jelas berbeda dengan yang dilakukan oleh endo- α -amilase yaitu membentuk suatu cekungan. Adapun seperti yang dimiliki oleh endo- α -amilase, sejumlah subsite pengikatan unit glukosil juga dimiliki oleh β -amilase (Marseno et al., 2023).

Dalam kacang kedelai, teridentifikasi sejumlah subsite pengikatan unit glukosil dari ekso- β -amilase, yang setidaknya paling sedikit terdapat lima subsite berada di antara subsite kedua dan ketiga gugus katalitik, dengan bekerja dimulai dari ujung nonreduksi. Adapun dalam glukoamilase juga teridentifikasi memiliki gugus katalik dengan sekitar lima hingga tujuh subsite pengikatan unit glukosil berada di antara subsite pertama dan kedua, yang dimulai dari ujung nonreduksi. β -amilase menghasilkan maltosa dari ujung nonreduksi rantai glukan secara terus-menerus, sehingga menyebabkan panjang rantai eksternal amilopektin tereduksi. Rantai eksternal pendek pada amilopektin terdapat di pati kentang dan waxy maize yang terbentuk karena hidrolisis yang dilakukan oleh β -amilase, sehingga menghasilkan suatu fraksi sebanyak dua hingga enam rantai unit glukosa. Hasil dari rantai pendek tersebut dapat mencegah terjadinya retrogradasi karena salah satu syarat tidak adanya proses retrogradasi apabila suatu rantai eksternal amilopektin memiliki unit glukosa rata-rata kurang dari sebelas (Marseno et al., 2023).

Dampak Perubahan Pada Pati

Modifikasi enzimatik oleh β -amilase menghasilkan perkembangan yang menyebabkan banyaknya retakan pada permukaan butiran pati. Dibandingkan dengan pati alami, pati yang dimodifikasi secara enzimatik menunjukkan adanya peningkatan kelarutan tetapi kapasitas pembengkakan dan viskositas pasta menurun (Compart et al., 2023).

Enzim β -Amilase juga dikenal dapat menghambat retrogradasi pati. Enzim ini memperpendek ikatan α -1,4 pada molekul pati rantai lurus dengan memanfaatkan aktivitas tipe ekso sehingga pada akhirnya mengurangi asosiasi antarmolekul dari bagian rantai lurus amilosa, yang dikenal sebagai penyebab utama retrogradasi pati. Selain itu, kapasitas penahan kelembapan maltosa yang dihasilkan oleh aksi enzim, berkontribusi pada kelembutan makanan yang mengandung pati. Dengan demikian, β -amilase digunakan untuk mencegah retrogradasi kue beras. β -Amilase yang terdapat dalam tepung terigu dianggap efektif dalam menghambat retrogradasi selama proses pembuatan roti, meskipun enzim yang berasal dari jelai digunakan pada beberapa kesempatan, penggunaannya terbatas karena masalah stabilitas termal (Das & Kayastha, 2019).

Penggunaan enzim β -amilase juga biasanya digabungkan dengan enzim lain, contohnya yaitu penggabungan β -amilase dengan enzim α -glukosidase. Pada modifikasi pati jagung yang dilakukan menggunakan β -amilase dan α -glukosidase mengalami beberapa perubahan. Perlakuan enzim ganda mengubah rasio amilosa/amilopektin pati jagung, dan penurunan amilosa, morfologi granular sampel pati yang diberi perlakuan enzim juga berubah pada tingkat yang berbeda. Entalpi pengentalan pati menurun seiring dengan semakin dalamnya enzimolisis, ketahanan terhadap penuaan meningkat, dan transmitansi pati meningkat karena pengurangan amilosa, meningkatkan laju pembengkakan pati dan menurunkan kelarutan pati (Jia et al., 2024).

Penggunaan enzim β -amilase juga dapat dikombinasi dengan enzim pullulanase. Contohnya kombinasi β -amilase dan pullulanase pada tepung beras

yang dapat secara efektif mengubah morfologi butiran pati beras. Perubahan morfologi pati beras ditandai dengan bentuk butiran yang menjadi tidak beraturan dan berongga. Perubahan morfologi butiran pati yang disebabkan oleh β -amilase dan pullulanase dapat berperan dalam hidrolisis amilosa dan amilopektin di daerah amorf (Hutabarat & Stevensen, 2023).

Contoh Pengaplikasian Pati β -amilase

Hasil Pengaplikasian pada produk pangan β -amilase digunakan dalam proses penghancuran dan pembuatan bir karena kemampuannya menghidrolisis pati biji-bijian dan menghasilkan maltosa. Enzim ini digunakan dalam produksi malt sebagai aditif dalam bahan makanan. β -amilase dimanfaatkan dalam produksi sirup kaya maltosa. Maltosa semakin penting sebagai pemanis dalam permen, kue-kue, dan "tsukandani" (makanan yang direbus dalam kecap), es krim, dan makanan lainnya karena dibandingkan dengan glukosa, ia memiliki rasa yang matang sempurna, laju reaksi Maillard yang lebih rendah, dan tahan terhadap kristalisasi. Karena maltose memiliki rasa manis yang halus dan lembut, serta tingkat pewarnaan yang rendah, ia sangat diperlukan sebagai pemanis untuk makanan manis jepang. Selain itu, kapasitas penahan kelembapan maltosa yang dihasilkan oleh aksi enzim, berkontribusi pada kelembutan makanan yang mengandung pati. β -amilase yang terdapat dalam tepung terigu dianggap efektif dalam menghambat retrogradasi selama proses pembuatan roti, meskipun enzim yang berasal dari jelai digunakan pada beberapa kesempatan, karena penggunaannya terbatas karena masalah stabilitas termal (Das & Kayastha, 2019).

Sirup glukosa adalah jenis cairan yang sudah digunakan dalam industri. Enzim amilase memegang peran penting dalam tahap likuifikasi pembuatan sirup glukosa. Pada tahap likuifikasi, enzim amilase memecah molekul pati dari bagian dalam rantai pati yang terikat dengan ikatan 1,4-glikosidik menjadi molekul-molekul berukuran lebih kecil seperti glukosa, maltosa, dekstrin, dan oligosakarida. Hal ini bisa dilihat dari penurunan viskositas larutan. Pembuatan sirup glukosa pada tahap likuifikasi dilakukan dengan mengfermentasikan pati jagung. Kondisi lingkungan pada proses

ini berbeda-beda, yaitu suhu antara 50 hingga 100°C serta pH antara 4 hingga 10. Aktivitas enzim amilase mencapai puncaknya pada suhu 80 derajat Celsius dan pH 6 (Akin et.al., 2019).

Pada tahap likuifikasi sirup glukosa, enzim amilase menghasilkan aktivitas enzim secara maksimum pada suhu 50°C dan 80°C. Suhu-suhu ini biasanya memicu aktivitas bakteri *L.plantarum* A.S1.2 dan *L.plantarum* B.S1.6, tetapi suhu 80°C adalah suhu tinggi dan tidak ideal untuk aktivitas enzim amilase. Namun, beberapa bakteri *L.fermentum* 04BBA19 menghasilkan enzim amilase yang efektif pada suhu ini. Selain itu, kondisi pH 6 adalah kondisi ideal di mana enzim amilase dapat melakukan fungsi maksimalnya (Ramadhan & Wikandari, 2021).

KESIMPULAN

Modifikasi pati secara enzimatis menggunakan ekso- β -amilase merupakan metode enzimatis yang dapat dikatakan efektif, spesifik hingga ramah lingkungan, dalam mekanismenya memperbaiki sifat fisikokimia serta fungsional pati untuk kebutuhan industri pangan. Enzim ini bekerja dengan memutus ikatan α -1,4-glikosidik dari ujung nonreduksi, sehingga memperpendek rantai amilosa maupun amilopektin, yang kemudian menghasilkan maltosa. Rantai pendek tersebut memberikan dampak utama seperti diantaranya yaitu penghambatan retrogradasi, menurunkan viskositas, peningkatan kelarutan pati dan stabilitas produk. Aplikasi pati termodifikasi oleh enzim β -amilase ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan bir, roti, kue, sirup glukosa, dan sirup kaya maltosa karena memberikan tekstur yang lebih lembut, kestabilan penyimpanan yang lebih baik, serta karakteristik sensoris yang lebih unggul. Enzim ini juga sering dikombinasikan dengan enzim lain untuk hasil modifikasi yang lebih optimal.

REFERENSI

Akin-Osanaiye, B. C., B. T. Azeez and W. Olobayaton. (2019). Evaluation of Invertase and Amylase Activities of Lactic Acid Bacteria Isolated from 'Pupuru' (An Indigenous African Fermented Cassava Staple Food). *Asian Journal of Research in Biochemistry* 5(3): 1-8.

- Compart, J., Singh, A., Fettke, J., & Apriyanto, A. (2023). Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. *Polymers*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/polym15163491>
- Das, R., & Kayastha, A. M. (2019). β -Amylase: General properties, mechanism and panorama of applications by immobilization on nano-structures. *Biocatalysis: Enzymatic Basics and Applications*, 17–38. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25023-2_2
- Duan, X., Zhu, Q., Zhang, X., Shen, Z., & Huang, Y. (2021). Expression, biochemical and structural characterization of high-specific-activity β -amylase from *Bacillus aryabhatai* GEL-09 for application in starch hydrolysis. *Microbial Cell Factories*, 20(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01649-5>
- Fath, A. El, Maulana, N. A., & Yogaswara, R. R. (2024). G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 186–195.
- Haryon, T. R., & Rusdi, B. (2023). Karakterisasi Pati Termodifikasi dengan Metode HMT (Heat Moisture Treatment). *Jurnal Riset Farmasi*, 3(2), 109–112.
- Hutabarat, D. J. C., & Stevensen, J. (2023). Physicochemical Properties of Enzymatically Modified Starch: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1169(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1169/1/012093>
- Jia, X., Xu, J., Cui, Y., Ben, D., Wu, C., Zhang, J., Sun, M., Liu, S., Zhu, T., Liu, J., Lin, K., & Zheng, M. (2024). Effect of Modification by β -Amylase and α -Glucosidase on the Structural and Physicochemical Properties of Maize Starch. *Foods*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/foods13233763>
- Marseno, D. W., Marsono, Y., & Pranoto, Y. (2023). *Teknologi Modifikasi Pati*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Merkuriana. (2023). Pembuatan Sirup Beras Ketan Giling Dengan Hidrolisa Enzimatis. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 8(1), 80. <https://doi.org/10.32503/hijau.v8i1.3479>

- Nadhira, R., & Cahyana, Y. (2023). Kajian Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Senyawa Fenolik (Review) Functional and Pasting Properties of Starch with Phenolic Compound Addition : Review. *Jurnal Penelitian Pangan*, 3(1), 14–19.
- Phieter, A. C., Chrisnasari, R., & Pantjajani, T. (2020). Karakterisasi Enzim Pemecah Pati dari Malt Serelia. *KELUWIH: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(1), 38–48. <https://doi.org/10.24123/saintek.v1i1.2773>
- Purwadi, R., Lestari, D., Lohoo, C. A., & Tirtaadji, J. L. (2021). The effect of size and solid content in hydrolysis of sweet potato starch using endogenous beta-amylase enzyme. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1143/1/012043>
- Ramadhan, B., & Wikandari, P. R. (2021). Aktivitas enzim amilase dari bakteri asam laktat. *Unesa Journal of Chemistry*, 10(2), 109–120.
- Zorn, H., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C., Catania, F., Gadermaier, G., Greiner, R., Mayo, B., Mortensen, A., Roos, Y. H., Solano, M. L. M., Van Loveren, H., Vernis, L., Tokić, V., Cavanna, D., & Liu, Y. (2025). Safety evaluation of an extension of use of the food enzyme β -amylase from barley (*Hordeum vulgare*). *EFSA Journal*, 23(10), 1–13. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9668>