



PRODUKSI DAN KARAKTERISASI PATI BENGKUANG (*Pachyrhizus erosus* L.) TERMODIFIKASI ENZIMATIS DENGAN α -AMILASE

[Production and Characterization of Enzymatically Modified Jicama (*Pachyrhizus erosus* L.) Starch Using Alpha-Amylase]

Dina Clarissa Kurniawan^{1*}, Bintang Efrata Aprilia¹, Felicia Irawan², Nanda Nurul Izzah³

¹Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta, Indonesia

²Fakultas Ekologi Manusia, Universitas Nasional Chonnam, Gwangju, Korea Selatan

³Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

*Email: dinac@staff.ukdw.ac.id

ABSTRACT

Starch is a major plant-derived carbohydrate widely utilized in various industrial applications. However, native starch exhibits functional limitations, necessitating modification to enhance its performance. Enzymatic modification is considered a favorable approach due to its specificity, safety, and controlled reaction conditions. This study aimed to produce and characterize enzymatically modified jicama (*Pachyrhizus erosus* L.) starch using α -amylase and to evaluate its functional properties and application potential. Enzymatic treatment significantly improved the functional characteristics of the starch, increasing water absorption capacity to $72.48 \pm 0.45\%$, oil absorption capacity to $135.99 \pm 4.73\%$, and solubility to $85.45 \pm 0.22\%$. Conversely, a decrease in swelling power was observed, attributed to partial hydrolysis and structural disruption of starch granules during enzymatic treatment. Morphological analysis revealed the presence of surface concavities and cracks, along with a reduction in granule size, indicating structural modification. These findings suggest that enzymatically modified jicama starch exhibits strong potential for application as a stabilizer or food additive in various food formulations.

Keywords: α -amylase; enzymatic modification; jicama starch; modified starch; *Pachyrhizus erosus* L.

ABSTRAK

Pati merupakan karbohidrat utama pada tumbuhan yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri. Namun, pati alami memiliki keterbatasan sifat fungsional sehingga diperlukan upaya modifikasi untuk meningkatkan kinerjanya. Modifikasi enzimatis menjadi metode yang menarik karena bersifat aman dan spesifik terhadap substrat. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi dan mengarakterisasi pati bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L.) yang dimodifikasi secara enzimatis menggunakan α -amilase, serta mengevaluasi perubahan sifat fungsional dan potensi aplikasinya. Hasil modifikasi menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi air menjadi $72,48 \pm 0,45\%$, kapasitas adsorpsi minyak menjadi $135,99 \pm 4,73\%$, serta peningkatan kelarutan hingga $85,45 \pm 0,22\%$. Sebaliknya, terjadi penurunan nilai *swelling power* akibat perubahan integritas struktur pati yang disebabkan oleh hidrolisis parsial rantai pati. Analisis morfologi menunjukkan adanya perubahan bentuk granula, ditandai dengan munculnya lekukan dan retakan serta penurunan ukuran granula. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pati bengkuang termodifikasi secara enzimatis memiliki potensi yang tinggi untuk diaplikasikan sebagai penstabil atau bahan tambahan pangan dalam berbagai formulasi produk.

Kata kunci: α -amilase; modifikasi enzimatis; pati bengkuang; pati termodifikasi; *Pachyrhizus erosus* L.

PENDAHULUAN

Pati merupakan salah satu karbohidrat utama yang terdapat pada tanaman dan telah digunakan secara luas di berbagai sektor, baik industri pangan maupun non-pangan (Obadi dan Xu, 2021; Zhu *et al.*, 2023). Namun



demikian, pati alami memiliki beberapa keterbatasan, seperti kelarutan yang rendah, daya serap yang kurang baik, serta kapasitas adsorpsi yang terbatas, sehingga modifikasi pati menjadi langkah penting untuk meningkatkan

fungsionalitasnya (Yu *et al.*, 2020). Secara umum, pati dapat dimodifikasi melalui proses enzimatik, kimia, atau fisik, maupun dengan kombinasi dari metode-metode tersebut. Modifikasi fisik meliputi teknik termal dan non-termal, sedangkan modifikasi kimia dilakukan dengan menambahkan gugus fungsional ke dalam molekul pati melalui reaksi derivatisasi (seperti eterifikasi, esterifikasi, dan ikatan silang) atau reaksi pemutusan rantai (seperti hidrolisis dan oksidasi). Sebaliknya, modifikasi enzimatik menggunakan enzim-enzim yang bersifat spesifik (Punia, 2020).

Di antara berbagai metode tersebut, modifikasi enzimatik semakin banyak diminati dalam beberapa dekade terakhir karena penggunaan enzim lebih aman bagi konsumen serta lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan reagen kimia (Park *et al.*, 2018). Selain itu, modifikasi enzimatik menawarkan spesifisitas terhadap substrat pati yang terdapat dalam matriks pangan yang kompleks serta meminimalkan pembentukan produk yang tidak diinginkan seperti produk samping, ko-produk, dan reaksi samping. Metode ini juga memberikan hasil yang tinggi, kemurnian yang lebih baik, biaya energi yang rendah, serta konsistensi produk berkualitas tinggi (Bangar *et al.*, 2022; Park & Kim, 2021). Keunggulan tersebut dapat dicapai melalui modifikasi panjang rantai pati, pembentukan titik percabangan, substitusi fosfat, proses *debranching*, dan disproporsionasi (Park *et al.*, 2008).

Modifikasi enzimatik pati melibatkan beberapa tahapan, dimulai dari difusi enzim menuju permukaan granula pati, kemudian adsorpsi enzim ke dalam granula pati, dan akhirnya tahap katalisis (Almeida *et al.*, 2019). Proses ini dapat mengubah sifat struktural, fisikokimia, dan fungsional pati, sehingga menjadikannya sesuai untuk aplikasi di bidang pangan, farmasi, dan kosmetik (Kishore *et al.*, 2024). Kemampuan pati termodifikasi secara enzimatik dalam membentuk pasta, emulsifikasi gel, dan solubilisasi menjadi alasan utama pemanfaatannya dalam industri pangan sebagai penstabil, pengental, dan *freeze-thawing agent*. Dalam beberapa tahun terakhir, pati termodifikasi enzimatik juga digunakan sebagai eksipien dengan berbagai fungsi, termasuk perpanjangan umur simpan, peningkatan mutu, dan aplikasi biomedis (Huang *et al.*, 2025).

Luasnya aplikasi pati termodifikasi enzimatik telah mendorong para peneliti untuk mengeksplorasi bidang ini lebih lanjut. Pati umumnya diekstraksi dari sumber konvensional seperti gandum, jagung, kentang, dan singkong. Namun, meningkatnya kebutuhan industri terhadap pati telah mendorong pencarian sumber pati alternatif yang kurang dimanfaatkan dan tidak bersaing sebagai sumber pangan pokok bagi populasi manusia (Kishore *et al.*, 2024). Penelitian sebelumnya telah mengkaji modifikasi pati yang berasal dari umbi lokal Indonesia seperti umbi garut dan ganyong (Witasari *et al.*, 2024; Purwitasari *et al.*, 2023). Sumber pati lokal lain yang berpotensi namun masih kurang dimanfaatkan adalah bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L.).



Bengkuang banyak dibudidayakan di wilayah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Ubi yang dapat dimakan ini dikenal sebagai tanaman yang bernilai ekonomi rendah dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Kandungan air dan inulin yang tinggi menyebabkan bengkuang lebih sering dikonsumsi dalam keadaan segar sebagai buah yang renyah dan manis (Hayati *et al.*, 2022; Kumalasari *et al.*, 2014). Pati bengkuang mengandung sekitar 87% pati (bk/bk), dengan kandungan amilosa dan amilopektin masing-masing berkisar antara 12-25,2% dan 74,8-88% (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). Ukuran granula pati bengkuang yang relatif kecil (3-10 μm) memberikan luas permukaan spesifik yang lebih besar, sehingga meningkatkan interaksi enzim-substrat selama proses hidrolisis (Zhang *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian telah melaporkan modifikasi pati bengkuang menggunakan perlakuan fisik (*ball milling*, pemanasan, dan ultrasonikasi) maupun kimia (hidrolisis asam, oksidasi, dan perlakuan alkali) (Abral *et al.*, 2019; Amaya-Llano *et al.*, 2008a; Amaya-Llano *et al.*, 2008b; Contreras-Jiménez *et al.*, 2019; Martínez-Bustos *et al.*, 2007; Ramírez-Miranda *et al.*, 2016). Namun, hingga saat ini belum terdapat penelitian mengenai modifikasi enzimatis pati bengkuang, meskipun metode ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan sifat pati guna berbagai aplikasi (Kishore *et al.*, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada modifikasi enzimatis pati bengkuang menggunakan α -amilase untuk mengevaluasi potensi dan karakteristiknya dalam berbagai aplikasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bengkuang, akuades, etanol 96%, Enzim α -amilase (Sigma-Aldrich A3403), Buffer fosfat 0,01M pH 7,0 yang tersusun dari NaCl (Merck 1.06404), NaH_2PO_4 (Merck), dan Na_2HPO_4 (Merck), *methylene blue* (BDH), dan minyak kelapa sawit komersial

Metode

Ekstraksi pati bengkuang

Ekstraksi pati dari bengkuang dilakukan menurut metode Shi *et al.*, (2021). Bengkuang segar dicuci, dikupas, dipotong, diblender, dan diperas dengan kain saring. Larutan yang diperoleh disimpan pada suhu 4°C selama 24 jam untuk mengendapkan pati. Supernatan kemudian dipisahkan dengan sentrifugasi (4800 rpm, 10 menit), dan endapan dicuci secara menyeluruh akuades beberapa kali untuk menghilangkan senyawa kontaminan dan disentrifugasi kembali pada kecepatan 4800 rpm selama 10 menit. Selanjutnya endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 24 jam. Kemudian pati diayak dengan ayakan ukuran 300 mesh.

Produksi pati modifikasi dari bengkuang



Produk pati berpori dilakukan menurut metode Purwitasari *et al.*, (2023) dengan modifikasi. Pati bengkang ditambahkan ke dalam buffer fosfat 0,01 M pH 7 dengan rasio 1:4 (b/v) dan ditambahkan dengan enzim α -amilase (50 U/mL). Campuran pati dan buffer tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 50°C untuk pati bengkang dengan penggoyangan selama 6 jam. Setelah itu, campuran ditambahkan dengan 6 ml etanol 96% dan disentrifugasi pada 2000 rpm selama 10 menit. Pelet yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama 24 jam.

Analisis Kadar Air Pati Bengkang

Kadar air ditentukan menggunakan metode termogravimetri. Kadar air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(B-C)}{(B-A)} \times 100\% \quad (1)$$

A = cawan porselen kosong (g)

B = cawan porselen dan sampel (g)

C = cawan porselen dan sampel yang sudah dikeringkan (g)

Analisis warna

Analisis warna pati bengkang dilakukan menggunakan Konica Minolta Colour Reader untuk mendapatkan nilai L^* , a^* , dan b^* . Nilai L^* menunjukkan kecerahan warna, nilai a^* menunjukkan tingkat kemerahan (positif) hingga kehijauan (negatif), dan nilai b^* menunjukkan tingkat kekuningan (positif) hingga kebiruan (negatif).

Karakterisasi Pati Bengkang Modifikasi

Water Adsorption Capacity (WAC) dan Oil Adsorption Capacity (OAC)

Kapasitas adsorpsi air (*Water Adsorption Capacity*, WAC) dan kapasitas adsorpsi minyak (*Oil Adsorption Capacity*, OAC) ditentukan berdasarkan metode Han *et al.* (2021). Pati bengkang sebanyak 0,5 g (Wg) dimasukkan ke dalam tabung konikal, kemudian ditambahkan 8 mL air atau minyak dan divorteks selama 5 menit pada suhu ruang. Campuran tersebut didiamkan pada suhu ruang selama 30 menit untuk memungkinkan terjadinya adsorpsi air atau minyak. Selanjutnya, campuran disentrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 20 menit, dan endapan yang terbentuk ditimbang sebagai W1. Nilai WAC dan OAC dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{WAC atau OAC} = \frac{(W1 - Wg)}{0.5} \times 100\% \quad (2)$$

Swelling power and Kelarutan

Kelarutan (*Solubility*, S) dan *swelling power* (SP) ditentukan berdasarkan metode Han *et al.* (2021). Pati bengkang sebanyak 0,5 g ditimbang sebagai M dan dimasukkan ke dalam tabung konikal yang berisi 10 mL akuades. Selanjutnya, campuran diinkubasi pada suhu 85°C selama 30 menit, kemudian didinginkan pada suhu ruang. Campuran yang telah dingin disentrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 15 menit. Supernatan



dikeringkan semalaman hingga mencapai bobot konstan (A), sedangkan endapan ditimbang sebagai (B). Nilai *swelling power* (g/g bobot kering) dan kelarutan (%) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S(\%) = \left(\frac{A}{M} \right) \times 100\% \quad (3)$$

$$SP \text{ (g/g)} = \left(\frac{B}{M} \right) \times (1 - S) \quad (4)$$

Analisis morfologi dengan SEM (Scanning Electron Microscopy)

Analisis morfologi granula pati bengkuang alami (native starch) dan pati bengkuang termodifikasi (modified starch) dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope*, SEM) pada perbesaran 3000×.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Pati Bengkuang, Kadar Air, dan Analisis Warna

Hasil ekstraksi pati dari bengkuang segar dan kadar air pati bengkuang alami dan pati bengkuang termodifikasi dengan α -amilase (50 U/mL) dapat dilihat pada Tabel 1. Ekstraksi pati dari bengkuang segar berhasil dilakukan dengan rendemen sebesar $1,63 \pm 0,15\%$. Rendemen ekstraksi pati bengkuang ini sebanding dengan hasil yang dilaporkan oleh Shi *et al.* (2021), yaitu berkisar antara 1-2%. Rendemen pati yang rendah dapat disebabkan oleh tingginya kandungan air pada bengkuang, yaitu sekitar 90% (Pribadi *et al.*, 2023). Kadar air pati bengkuang alami dan pati bengkuang termodifikasi masing-masing sebesar $9,23 \pm 1,07\%$ dan $8,97 \pm 0,95\%$. Nilai kadar air tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Penurunan kadar air yang sedikit pada pati termodifikasi kemungkinan disebabkan oleh perubahan morfologi permukaan dan struktur granula yang menghasilkan luas permukaan spesifik yang lebih besar akibat terbentuknya pori, retakan, atau cekungan (Zhang *et al.*, 2018). Peningkatan luas permukaan ini menyebabkan area penguapan air bebas menjadi lebih besar, sehingga air yang tertahan atau terikat menjadi lebih sedikit dibandingkan pati alami. Hasil ini juga sesuai dengan standar SNI 01-2593-1992 (Standar Nasional Indonesia, 1992), yang mensyaratkan kadar air pati di bawah 11%.

Hasil analisis warna pada pati bengkuang alami dan termodifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis warna pati bengkuang alami menghasilkan nilai L^* sebesar $79,16 \pm 0,73$, nilai a^* sebesar $-0,05 \pm 0,006$, dan nilai b^* sebesar $0,88 \pm 0,02$. Sementara itu, pati bengkuang termodifikasi memiliki nilai L^* sebesar $78,26 \pm 1,54$, nilai a^* sebesar $0,10 \pm 0,006$, dan nilai b^* sebesar $1,22 \pm 0,06$. Nilai L^* menunjukkan tingkat kecerahan warna, nilai a^* menunjukkan spektrum warna dari merah (nilai positif) hingga hijau (nilai negatif), dan nilai b^* menunjukkan spektrum warna dari kuning (nilai positif) hingga biru (nilai negatif). Hal ini menunjukkan bahwa pati bengkuang



alami memiliki warna putih atau cerah dengan sedikit nuansa kehijauan dan kekuningan. Pati termodifikasi juga memiliki warna putih atau cerah yang tidak berbeda secara signifikan dari pati alami, namun menunjukkan sedikit peningkatan nuansa kemerahan dan kekuningan yang berbeda secara statistik. Meskipun demikian, secara visual tidak terdapat perbedaan yang mencolok karena nilai a^* dan b^* keduanya sangat mendekati nol, yang menunjukkan bahwa pengaruh warna merah/hijau dan kuning/biru sangat rendah, sehingga kecerahan atau keputihan menjadi karakteristik warna yang dominan pada pati.

Tabel 1 Hasil ekstraksi, kadar air, dan analisis warna *Native* dan *Modified Starch* Bengkuang

	Rendemen		Warna		
	Ekstraksi pati	Kadar air	L^*	a^*	b^*
<i>Native Starch</i> (NS)	$1,63 \pm 0,15\%$	$9,23 \pm 1,07^a$	$79,16 \pm 0,073^a$	$-0,05 \pm 0,006^a$	$0,88 \pm 0,02^a$
<i>Modified Starch</i> (MS)	-	$8,97 \pm 0,95^a$	$78,26 \pm 1,54^a$	$0,10 \pm 0,006^b$	$1,22 \pm 0,06^b$

Keterangan: nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD. Nilai dengan superskrip berbeda (a, b, dan c) pada setiap baris menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Meskipun tidak terlihat perbedaan secara kasat mata, terdapat peningkatan nilai a^* dan b^* . Hasil ini mengindikasikan bahwa modifikasi pati menggunakan α -amilase meningkatkan nuansa kemerahan dan kekuningan pati. Peningkatan kecil pada warna merah dan kuning tersebut kemungkinan disebabkan oleh perubahan ukuran granula dan morfologi akibat modifikasi enzimatis. Sudut dan tingkat kehalusan permukaan pati juga memengaruhi difusi cahaya, sehingga berpotensi mengubah persepsi warna. Penelitian oleh Li *et al.* (2025b) menunjukkan bahwa granula pati yang lebih kecil memiliki warna yang lebih cerah dan lebih kuning, yang mengindikasikan bahwa partikel berukuran lebih kecil menghasilkan reflektansi difus yang relatif lebih tinggi.

Karakteristik Pati Termodifikasi

Modifikasi pati bengkuang menggunakan α -amilase (50 U/mL) berhasil dilakukan pada suhu 50°C. Setelah proses modifikasi, pati bengkuang termodifikasi yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi sebagaimana dijelaskan pada bagian metode.

Kapasitas Adsorpsi Air dan Minyak

Pati bengkuang termodifikasi menunjukkan kapasitas adsorpsi air dan minyak yang lebih tinggi dibandingkan pati bengkuang alami, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Kapasitas adsorpsi air pati bengkuang alami dan termodifikasi masing-masing sebesar $64,75 \pm 3,83\%$ dan $72,48 \pm 0,45\%$. Sementara itu, kapasitas adsorpsi minyak pati bengkuang alami dan termodifikasi masing-masing sebesar $109,21 \pm 5,05\%$ dan $135,99 \pm 4,73\%$. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Li *et al.* (2025a), yang mengamati peningkatan kapasitas adsorpsi pada pati beras berpori yang dimodifikasi menggunakan α -amilase. Peningkatan kapasitas adsorpsi air dan minyak



setelah modifikasi enzimatik juga telah dilaporkan dalam penelitian sebelumnya oleh Purwitasari *et al.* (2023), Han *et al.* (2021), dan Jung *et al.* (2017). Peningkatan kapasitas adsorpsi air dan minyak ini dapat disebabkan oleh perubahan morfologi dan struktur granula pati akibat modifikasi menggunakan α -amilase. Modifikasi enzimatik

menghasilkan banyak retakan, cekungan, dan pori pada permukaan granula pati, sehingga jumlah situs adsorpsi yang tersedia akan meningkat dan pada akhirnya meningkatkan kemampuan adsorpsi air dan minyak. Retakan, cekungan, dan pori tersebut meningkatkan luas permukaan spesifik granula, sehingga meningkatkan peluang tumbukan antara molekul air dan granula pati, yang mempercepat proses hidrasi pati oleh molekul air (Sudheesh *et al.*, 2023). Kapasitas adsorpsi air dan minyak yang tinggi menunjukkan kemampuan emulsifikasi yang baik, sehingga pati termodifikasi ini berpotensi digunakan sebagai penstabil dalam produk seperti sup, saus, produk *bakery*, pengganti daging, dan bahan pengisi (*extender*) (Azima *et al.*, 2020).

Tabel 2 Karakteristik *Water Adsorption Capacity* (WAC) dan *Oil Adsorption Capacity* (OAC) Pati Bengkuang Alami (*Native Starch*) dan Pati Bengkuang Termodifikasi (*Modified Starch*)

	Native Starch (NS)	Modified Starch (MS)
WAC	64,75 $\pm$ 3,83 ^a	72,48 $\pm$ 0,45 ^b
OAC	109,21 $\pm$ 5,05 ^a	135,99 $\pm$ 4,73 ^b

Keterangan: nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD. Nilai dengan superskrip berbeda (a, b, dan c) pada setiap baris menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$).

Swelling Power dan Kelarutan

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3, karakteristik *swelling power* dan kelarutan (*solubility*, S) pati bengkuang alami dan termodifikasi menunjukkan kecenderungan yang saling berlawanan. Pati bengkuang alami memiliki *swelling power* yang tinggi (16,61 $\pm$ 0,91 g/g) namun kelarutan yang rendah (3,17 $\pm$ 1,09%). Sebaliknya, pati bengkuang termodifikasi memiliki *swelling power* yang rendah (0,076 $\pm$ 0,002 g/g) tetapi kelarutan yang sangat tinggi (85,45 $\pm$ 0,22%).

Tabel 3 Karakteristik SP dan S *Native* dan *Modified Starch* Bengkuang

	Native Starch (NS)	Modified Starch (MS)
<i>Swelling Power</i> (SP) (g/g)	16,61 $\pm$ 0,91 ^a	0,076 $\pm$ 0,002 ^b
<i>Solubility</i> (S) (%)	3,17 $\pm$ 1,09 ^a	85,45 $\pm$ 0,22 ^b

Keterangan: nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD. Nilai dengan superskrip berbeda (a, b, dan c) pada setiap baris menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$).

Penurunan *swelling power* pada pati bengkuang termodifikasi juga telah dilaporkan dalam beberapa penelitian sebelumnya setelah modifikasi enzimatik (Purwitasari *et al.*, 2023; Han *et al.*, 2021; Keeratiburana *et al.*,



2020). Penggunaan α -amilase maltogenik diketahui menurunkan *swelling power* pati secara signifikan (Keeratiburana *et al.*, 2020). Terbentuknya cekungan dan retakan pada permukaan granula pati akibat modifikasi enzimatis meningkatkan luas permukaan spesifik granula. Namun, seiring berlanjutnya proses modifikasi, retakan, cekungan, dan struktur pori menjadi semakin dalam dan parah, menyebabkan struktur internal granula mengalami keruntuhan sehingga kemampuan granula pati untuk mengikat air menurun (Keeratiburana *et al.*, 2020). Penelitian lain oleh Katyal *et al.* (2019) menunjukkan bahwa semakin besar ukuran granula pati, maka *swelling power*nya juga semakin tinggi, dan sebaliknya. Setelah modifikasi, granula pati bengkang mengalami korosi oleh α -amilase sehingga ukuran granula menjadi lebih kecil dibandingkan pati alami, yang menyebabkan penurunan *swelling power* seiring dengan berkurangnya ukuran granula.

Sebaliknya, kelarutan pati bengkang termodifikasi meningkat setelah perlakuan α -amilase. Temuan ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh Purwitasari *et al.* (2023) dan Han *et al.* (2021). Perlakuan α -amilase menghasilkan fragmen polisakarida rantai pendek yang melekat pada granula, sehingga memudahkan molekul air untuk berinteraksi (Keeratiburana *et al.*, 2020). Selain itu, deformasi granula pati berupa cekungan dan retakan justru mendorong interaksi dan penetrasi molekul air ke dalam granula pati, sehingga mempermudah pelepasan senyawa yang larut dalam air (Chen *et al.*, 2020). Faktor lain yang dapat memengaruhi kelarutan adalah ukuran granula. Setelah modifikasi enzimatis, ukuran keseluruhan granula pati bengkang menurun akibat korosi oleh α -amilase. Rantai polisakarida pada granula berukuran kecil menunjukkan tingkat kristalinitas yang lebih rendah dan proporsi daerah amorf yang lebih besar, sehingga meningkatkan kemampuannya untuk berinteraksi dengan molekul air (Ran *et al.*, 2020; Mosisa *et al.*, 2021). Oleh karena itu, selain karakteristik permukaan granula, ukuran partikel serta perbedaan rasio amilosa dan amilopektin pada berbagai jenis pati juga dapat memengaruhi *swelling power* dan kelarutan.

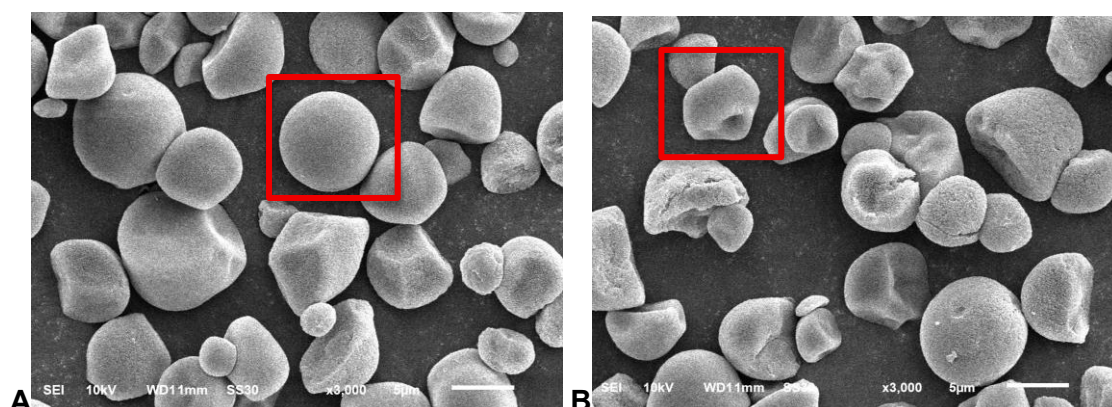
Pati dengan kelarutan tinggi sangat diinginkan untuk pembuatan film berbasis pati yang memiliki sifat mekanik yang baik, dengan kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang sebanding dengan film dari polimer sintesis (Kim *et al.*, 2015). Selain itu, pati dengan indeks glikemik rendah dapat dikembangkan melalui perlakuan α -amilase parsial, sebagaimana dilaporkan oleh Han *et al.* (2006) bahwa pati jagung yang dimodifikasi α -amilase menunjukkan sifat tercerna lambat dan resisten, sekaligus mempertahankan struktur bercabang yang penting bagi fungsi bahan tambahan pangan sebagai pengental dan penstabil. Oleh karena itu, pati bengkang termodifikasi dengan kelarutan yang meningkat berpotensi diaplikasikan sebagai polimer pangan yang dapat dimakan (*edible polymer*) maupun sebagai bahan tambahan pangan.

Analisis Morfologi

Modifikasi pati bengkang menggunakan α -amilase menghasilkan perubahan morfologi granula pati sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pati bengkang alami memiliki granula berbentuk bulat hingga poligonal

tidak beraturan dengan morfologi permukaan yang halus. Setelah modifikasi enzimatik, muncul cekungan dan retakan pada permukaan granula pati. Hasil ini sejalan dengan temuan Jia *et al.* (2023), yang melaporkan bahwa granula pati alami dengan permukaan halus menjadi kasar dengan adanya retakan, pori, dan cekungan setelah dilakukan modifikasi fisik dan kimia. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, ukuran granula pati yang teramati berkisar antara 3-10 μm . Penelitian sebelumnya oleh Contreras-Jiménez *et al.* (2019) dan Shi *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa ukuran granula pati bengkuang berada pada rentang 3-10 μm dengan bentuk poligonal, *semi-spherical*, dan tidak beraturan. Ukuran granula yang kecil memberikan luas permukaan spesifik yang relatif besar, sehingga meningkatkan interaksi enzim-substrat selama proses hidrolisis (Zhang *et al.*, 2018).

Pati bengkuang memiliki struktur kristal polimorfik tipe A atau C (Qiao *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2021; Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). Pati bengkuang mengandung sekitar 87% pati (bk/bk), dengan kandungan amilosa dan amilopektin masing-masing berkisar antara 12-25,2% dan 74,8-88% (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). Secara umum, aktivitas α -amilase terhadap pati umbi relatif lebih rendah. Fenomena ini dapat diamati pada granula pati ubi jalar, singkong, dan kentang setelah modifikasi menggunakan α -amilase, di mana hanya terbentuk retakan dan cekungan kecil. Hal ini menunjukkan bahwa α -amilase bekerja melalui mekanisme korosi ekso (*exo-corrosion*), yaitu mengikis permukaan granula pati yang bersifat sangat kompak dan halus, sehingga membatasi adsorpsi enzim (Abdillah & Charles, 2021; Barroso & del Mastro, 2019; Latip *et al.*, 2020). Jung *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa α -amilase, sebagai enzim endo-aksi, terutama menghidrolisis ikatan glikosidik α -(1 $\rightarrow$ 4) di dalam molekul pati, kecuali ikatan yang berada di dekat titik percabangan α -(1 $\rightarrow$ 6). Pemutusan ikatan α -(1 $\rightarrow$ 4) sepanjang rantai pati menyebabkan terbentuknya pori dan rongga yang membesar pada permukaan granula. Oleh karena itu, keberadaan cekungan dan retakan pada pati bengkuang termodifikasi menunjukkan bahwa proses modifikasi oleh α -amilase telah berhasil dilakukan.



Gambar 1 Hasil SEM pada *native starch* (A) dan *modified starch* (B) pada perbesaran 3000x



KESIMPULAN

Produksi pati bengkuang termodifikasi menggunakan α -amilase telah berhasil dilakukan, dengan peningkatan kapasitas adsorpsi air dan minyak serta kelarutan yang lebih baik dibandingkan pati bengkuang alami. Karakteristik tersebut menjadikan pati bengkuang termodifikasi berpotensi diaplikasikan sebagai penstabil dalam berbagai produk, khususnya pada produk pangan. Selanjutnya, penelitian lebih lanjut mengenai struktur kristal maupun aplikasi pati tersebut akan menjadi tambahan yang sangat bermanfaat untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi pati bengkuang termodifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah AA, Charles AL. 2021. Characterization of a natural biodegradable edible film obtained from arrowroot starch and iota carrageenan and application in food packaging. *Int J Biol Macromol* 191: 618-626. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.09.141.
- Abral H, Satria RS, Mahardika M, Hafizulhaq F, Affi J, Asrofi M, Muslimin A. 2019. Comparative study of the physical and tensile properties of jicama (*Pachyrhizus erosus*) starch film prepared using three different methods. *Starch* 71(5-6): 1800224. DOI: 10.1002/star.201800224.
- Almeida RL, Pereira TD, Freire VD, Santiago ÂM, Oliveira HM, Conrado LD, Gusmão DG. 2019. Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. *Int J Biol Macromol* 141: 1210-1219. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.072.
- Amaya-Llano SL, Martínez-Bustos F, Alegría AL, Zazueta-Morales JD. 2008a. Comparative studies on some physicochemical, thermal, morphological, and pasting properties of acid-thinned jicama and maize starches. *Food Bioprocess Technol* 4: 48-60. DOI: 10.1007/s11947-008-0153-z.
- Amaya-Llano SL, Martínez-Alegría A, Zazueta-Morales JJ, Martínez-Bustos F. 2008b. Acid-thinned jicama and maize starches as fat substitutes in stirred yogurt. *LWT-Food Sci Technol* 41(7): 1274-1281. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.08.012.
- Azima F, Nazir N, Efendi H. 2020. Characteristics of physico-chemical and functional properties of starch extracts from tubers. *J Phys Conf Ser* 1469: 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1469/1/012002.
- Bangar SP, Ashogbon AO, Singh A, Chaudhary V, Whiteside WS. 2022. Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. *Carbohydr Polym* 287: 119625. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119625.
- Barroso AG, del Mastro NL. 2019. Physicochemical characterization of irradiated arrowroot starch. *Radiat Phys Chem* 158: 194-198. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2019.02.020.
- Chen J, Wang Y, Liu J, Xu X. 2020. Preparation, characterization, physicochemical property and potential application of porous starch: A review. *Int J Biol Macromol* 148: 1169-1181. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.055.
- Contreras-Jiménez B, Vázquez-Contreras G, Cornejo-Villegas MD, Real-López AD, Rodríguez-García ME. 2019. Structural, morphological, chemical, vibrational, pasting, rheological, and thermal characterization of isolated jicama (*Pachyrhizus* spp.) starch and jicama starch added with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Food Chem* 283: 83-91. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.013.



- Han X, Wen H, Luo Y, Yang J, Xiao W, Ji X, Xie J. 2021. Effects of α -amylase and glucoamylase on the characterization and function of maize porous starches. *Food Hydrocoll* 116: 106661. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106661.
- Han XZ, Ao Z, Janaswamy S, Jane JL, Chandrasekaran R, Hamaker BR. 2006. Structural basis for the slow digestion property of native cereal starches. *Biomacromolecules* 7(4): 1162-1168. DOI: 10.1021/bm050991e.
- Hayati PK, Witari S, Rozen N, Sutoyo, Widiarsih S. 2022. Effect of gamma irradiation on the germination, pollen viability, and morpho-agronomic traits of *Pachyrhizus erosus* cv. Kota Padang. *Biodiversitas* 23(3): 1231-1238. DOI: 10.13057/biodiv/d230306.
- Huang Y, Li L, Hong Y, Cheng L, Gu Z. 2025. Enzymatically modified starch: Structure, digestibility, energy supply, and applications. *Carbohydr Polym* 367: 123959. DOI: 10.1016/j.carbpol.2025.123959.
- Jia R, Cui C, Gao L, Qin Y, Ji N, Dai L, Wang Y, Xiong L, Shi R, Sun Q. 2023. A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality. *Carbohydr Polym* 321: 121260. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121260.
- Jung Y, Lee B, Yoo S. 2017. Physical structure and absorption properties of tailor-made porous starch granules produced by selected amylolytic enzymes. *PLoS ONE* 12(7): e0181372. DOI: 10.1371/journal.pone.0181372.
- Katyal M, Singh N, Chopra N, Kaur A. 2019. Hard, medium-hard and extraordinarily soft wheat varieties: Comparison and relationship between various starch properties. *Int J Biol Macromol* 123: 1143-1149. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.192.
- Keeratiburana T, Hansen AR, Soontaranon S, Tongta S, Blennow A. 2020. Porous rice starch produced by combined ultrasound-assisted ice recrystallization and enzymatic hydrolysis. *Int J Biol Macromol* 145: 100-107. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.144.
- Kim SRB, Choi YG, Kim JY, Lim ST. 2015. Improvement of water solubility and humidity stability of tapioca starch film by incorporating various gums. *LWT-Food Sci Technol* 64(1): 475-482. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.05.009.
- Kishore A, Patil RJ, Singh A, Pati K. 2024. Jicama (*Pachyrhizus* spp.), a nonconventional starch: A review on isolation, composition, structure, properties, modifications, and its application. *Int J Biol Macromol* 258(2): 129095. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.129095.
- Kumalasari ID, Nishi K, Harmayani E, Raharjo S, Sugahara T. 2014. Immunomodulatory activity of bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) fiber extract in vitro and in vivo. *Cytotechnology* 66(1): 75-85. DOI: 10.1007/s10616-013-9539-5.
- Latip DN, Samsudin H, Utra U, Alias AK. 2020. Modification methods toward the production of porous starch: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 61(17): 2841-2862. DOI: 10.1080/10408398.2020.1789064.
- Li L, Chen X, Yang Y, Xiao H, Li J, Zhou W, Yu F. 2025a. Effect of drying methods on the physicochemical and adsorption properties of porous starch loaded with cinnamon essential oil. *Food Struct* 45: 100461. DOI: 10.1016/j.foostr.2025.100461.
- Li Y, Qi L, Luo S, Gao W, Yuan T, Alouk I, Zhang R, Zou K, Xu D. 2025b. Impact of starch morphology on the stability and color of paprika red. *J Food Eng* 394: 112528. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2025.112528.
- Martínez-Bustos F, Amaya-Llano SL, Carbajal-Arteaga J, Yoon K, Zazueta-Morales JJ. 2007. Physicochemical properties of cassava, potato, and jicama starches oxidised with organic acids. *J Sci Food Agric* 87(7): 1207-1214. DOI: 10.1002/jsfa.2805.



- Mosisa B, Belete A, Gebre-Mariam T. 2021. Isolation and physico-chemical characterization of *Triticum dicoccum* starch. *Starch-Stärke* 73(7-8): 2000226. DOI: 10.1002/star.202000226.
- Obadi M, Xu B. 2021. Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of starches and its common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocoll* 112: 106286. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106286.
- Park KH, Park JH, Lee S, Yoo SH, Kim JW. 2008. Enzymatic modification of starch for the food industry. In: Park KH (Ed.). *Carbohydrate-active enzymes: Structure, function, and applications*. 157-183. Woodhead Publishing, Cambridge. DOI: 10.1533/9781845695750.2.157.
- Park SH, Na Y, Kim J, Kang SD, Park KH. 2018. Properties and applications of starch-modifying enzymes for use in the baking industry. *Food Sci Biotechnol* 27(2): 299-312. DOI: 10.1007/s10068-017-0261-5.
- Park S, Kim YR. 2021. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications. *Food Sci Biotechnol* 30(1): 1-17. DOI: 10.1007/s10068-020-00834-3.
- Pribadi T, Putri NA, Putri CA, Fitriani FM, Ramadhani YA, Faradilla NI, Boleng DT, Turista DDR. 2023. The combination of jicama (*Pachyrhizus erosus* L.) and tofu as alternative medium for the growth of *Escherichia coli* bacteria. In: *Proceedings of the International Conference of Tropical Studies and its Applications (ICTROPS 2022)*. Atlantis Press. DOI: 10.2991/978-94-6463-180-7_40.
- Punia S. 2020. Barley starch modifications: Physical, chemical, and enzymatic - A review. *Int J Biol Macromol* 144: 578-585. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.088.
- Purwitasari L, Wulanjati MP, Paranoto Y, Witasari LD. 2023. Characterization of porous starch from edible canna (*Canna edulis* Kerr.) produced by enzymatic hydrolysis using thermostable α -amylase. *Food Chem Adv* 2: 100152. DOI: 10.1016/j.focha.2022.100152.
- Qiao D, Tu W, Liao A, Li N, Zhang B, Jiang F, Zhong L, Zhao S, Zhang L, Lin Q. 2019. Multi-scale structure and pasting/digestion features of yam bean tuber starches. *Carbohydr Polym* 213: 199-207. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.02.082.
- Ramírez-Miranda M, Ribotta P, Silva-González A, Salgado-Cruz M, Andraca-Adame J, Pérez JCP, Calderón-Domínguez G. 2016. Morphometric and crystallinity changes on jicama starch (*Pachyrhizus erosus*) during gelatinization and their relation with in vitro glycemic index. *Starch-Stärke* 69(7-8): 1600281. DOI: 10.1002/star.201600281.
- Ran L, Yu X, Li Y, Zou J, Deng J, Pan J, Xiong F. 2020. Analysis of development, accumulation and structural characteristics of starch granule in wheat grain under nitrogen application. *Int J Biol Macromol* 164: 3739-3750. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.08.192.
- Shi X, Huang J, Han J, Wang S. 2021. Physicochemical and functional properties of starches from *Pachyrhizus erosus* with low digestibility. *EFood* 2(3): 154-161. DOI: 10.2991/efood.k.210626.001.
- Sudheesh C, Sunooj KV, Navaf M, Akhila PP, Aaliya B, Mounir S, et al. 2023. An efficient approach for improving granular cold water soluble starch properties using energetic neutral atoms treatment and NaOH/urea solution. *Food Hydrocoll* 141: 108723. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108723.
- Witasari LD, Nisrina S, Yani AIT, Heryadi AA, Pranoto Y. 2024. Characterization of porous starch produced from arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) by enzymatic hydrolysis with α -amylase and glucoamylase. *Carbohydr Polym Technol Appl* 7: 100445. DOI: 10.1016/j.carpta.2024.100445.



- Yu B, Ren F, Zhao H, Cui B, Liu P. 2020. Effects of native starch and modified starches on the textural, rheological and microstructural characteristics of soybean protein gel. *Int J Biol Macromol* 142: 237-243. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.095.
- Zhang L, Zhao L, Bian X, Guo K, Zhou L, Wei C. 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocoll* 80: 168-176. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.006.
- Zhu Q, Tang J, Yao S, Feng J, Mi B, Zhu W, Chen Q, Liu D, Xu E. 2023. Controllable structure of porous starch facilitates bioactive encapsulation by mild gelatinization. *Food Hydrocoll* 145: 109135. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109135.