

Modifikasi Pati Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) dengan *Dual Annealing* dan *Heat Moisture Treatment*

Modification of Gadung Tuber Starch (Dioscorea hispida Dennst) *by Dual Annealing and Heat Moisture Treatment*

Edy Subroto*, Yadi Supriyadi, Rossi Indianto, Syamsul Huda

Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang 40600, Indonesia

*E-mail: edy.subroto@unpad.ac.id

Diterima: 12 Mei 2025; Disetujui: 18 Juli 2025

ABSTRAK

Umbi gadung adalah komoditas pangan lokal yang dapat digunakan sebagai sumber pati, namun pati gadung memiliki stabilitas yang rendah sehingga di perlukan modifikasi untuk memperbaiki sifat fungsional dan stabilitasnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik pati gadung termodifikasi *dual annealing* (ANN), *dual heat moisture treatment* (HMT), dan kombinasi *annealing* dan HMT (ANN+HMT) yang memiliki sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia yang lebih baik. Pendekatan pada penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa perlakuan modifikasi *dual HMT*, *dual Annealing* maupun kombinasi ANN + HMT berpengaruh terhadap sifat fungsional dan amilografi pati gadung. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan dalam sifat amilografi, termasuk suhu awal gelatinisasi, viskositas pasta panas, viskositas pasta dingin, dan *breakdown viscosity* pada pati gadung yang telah dimodifikasi. Modifikasi ini juga menyebabkan penurunan kecerahan warna pada pati hasil modifikasi *dual HMT* dan kombinasi ANN + HMT. Modifikasi *dual HMT* merupakan perlakuan terbaik yang menunjukkan kestabilan pada suhu tinggi. Perlakuan ini ditandai dengan penurunan viskositas *breakdown* sebesar 74,22 kali. Selain itu, modifikasi *dual HMT* ini juga meningkatkan nilai *swelling volume* sebesar 1,29 kali, dan nilai kapasitas penyerapan air (KPA) pada modifikasi *dual HMT* meningkat sebesar 1,71 kali daripada pati gadung alami. Dengan demikian modifikasi *dual HMT* efektif memperbaiki sifat fungsional dan stabilitas pati gadung.

Kata kunci: amilografi, *annealing*; *heat moisture treatment*; modifikasi pati; pati gadung

ABSTRACT

Gadung tubers are local food commodities that can be used as a source of starch, but gadung starch has low stability so that modification is needed to improve its functional properties and stability. The purpose of this study was to determine the characteristics of modified gadung starch by dual annealing (ANN), dual heat moisture treatment (HMT), and a combination of annealing and HMT (ANN + HMT) which have better functional, amylographic, and physicochemical properties. The approach in this study used an experimental approach with a Randomized Block Design (RBD). The results of the study showed that the modification treatments of dual HMT, dual Annealing, and the combination of ANN + HMT affected the functional and amylographic properties of gadung starch. Overall, there was an increase in amylographic properties, including the initial gelatinization temperature, hot paste viscosity, cold paste viscosity, and breakdown viscosity in modified gadung starch. This modification also caused a decrease in color brightness in the starch modified by dual HMT and the combination of ANN + HMT. Dual HMT modification is the best treatment that shows stability at high temperatures. This treatment is characterized by a decrease in breakdown viscosity by 74.22 times. In addition, this dual HMT modification also increases the swelling volume value by 1.29 times, and the water absorption capacity (WAC) in the dual HMT modification increases by 1.71 times than natural gadung starch. Thus, the dual HMT modification is effective in improving the functional properties and stability of gadung starch.

Keywords: amylography, *annealing*; *heat moisture treatment*; starch modification; gadung starch

PENDAHULUAN

Pati adalah sejenis karbohidrat yang biasa ditemukan di alam, biasanya terdapat pada akar, batang, dan sereal. Pati merupakan polisakarida alami yang memiliki bobot molekul tinggi yang terdiri dari unit-unit glukosa. Tipe polimer glukosa dalam pati terdiri atas amilosa dan amilopektin. Sumber pati yang biasa digunakan dalam sebuah industri pangan dapat berasal dari beras, jagung, singkong, gandum, dan kentang (Deka & Sit, 2016). Diseluruh dunia, pati merupakan bahan makanan yang banyak digunakan karena fungsinya yang beragam, murah, dan dapat tersedia sepanjang tahun. Pengaplikasian pati tidak hanya pada

industri pangan, melainkan dapat digunakan untuk industri lainnya seperti industri kertas, tekstil, farmasi, dan kosmetik (Nand *et al.*, 2008). Hasil dari ekstraksi pati yang diperoleh dari bahan-bahan tersebut disebut pati alami. Pati dibagi menjadi dua yaitu pati alami dan pati modifikasi.

Umbi gadung adalah komoditas pangan lokal yang dapat digunakan sebagai sumber utama pati. Umbi gadung mengandung banyak karbohidrat, terutama dalam bentuk pati (Estiasih *et al.*, 2022). Umbi gadung memiliki kandungan pati 38,80%, dengan porsi amilosa 12,42% dan amilopektin 87,58% (Santoso *et al.*, 2015). Pati alami biasanya memiliki karakteristik pati yang kurang sesuai untuk digunakan dalam berbagai kondisi seperti stabilitas termal yang rendah,

mudah mengalami retrogradasi, kelarutan pati, dan lain-lain. Hal inilah yang membuat pati alami tidak dapat diaplikasikan untuk berbagai kondisi dalam industri pangan maupun industri lainnya (Murdianto & Pranoto, 2018), oleh karena itu, perlu dilakukannya modifikasi pati untuk memenuhi karakteristik yang diinginkan. Pati modifikasi dapat membuat beberapa karakteristik yang tidak dimiliki oleh pati alami sehingga penggunaan pati memungkinkan untuk keperluan tertentu. Faktanya, pati modifikasi dapat membawa keunggulan yang kompetitif karena banyaknya sifat fungsional dan nilai tambah yang baru (Kaur *et al.*, 2012). Modifikasi pati dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu fisik, kimia dan biokimia.

Modifikasi secara fisik adalah metode modifikasi pati yang dianggap cukup aman dan mudah dilakukan karena tidak menggunakan bahan kimia dan tidak meninggalkan residu yang dapat mengkontaminasi pati (Zavareze *et al.*, 2010). Terdapat berbagai jenis modifikasi pati yang sering digunakan, yaitu salah satunya dengan menggunakan metode *dual Heat Moisture Treatment*, *dual annealing* dan kombinasi annealing dan HMT. *Heat Moisture Treatment* adalah modifikasi pati secara fisik yang menggunakan panas dan air untuk mengubah sifat pati. Ini dilakukan dalam kadar air terbatas (<35% W/w) dan pada suhu pemanasan di atas suhu gelatinisasinya (84–120°C) selama periode tertentu (15 menit–16 jam) (Gunaratne & Hoover, 2002). Sifat fungsional pati seperti *swelling volume*, kapasitas penyerapan air, dan stabilitas granula terhadap panas dapat ditingkatkan dengan modifikasi HMT (Adebowale *et al.*, 2005).

Annealing merupakan modifikasi yang dilakukan pada suhu dibawah suhu gelatinisasi dengan air berlebih (>65% w/w atau air sedang (40–55% w/w) (Hoover & Vasanthan, 1994). Umumnya modifikasi *annealing* dapat mempengaruhi sifat fungsional pati, seperti menurunkan *swelling power*, *amylose leaching*, viskositas puncak, serta dapat meningkatkan suhu gelatinisasi, kelarutan, dan stabilitas pati selama penyimpanan (Molavi *et al.*, 2018).

Modifikasi fisik pada umbi gadung belum banyak dilakukan sehingga data dan informasi terkait modifikasi *dual HMT*, *dual annealing* dan kombinasi *annealing* dan HMT masih terbatas. Oleh karena itu, pada penelitian pati umbi gadung yang dimodifikasi dengan menggunakan metode *dual HMT*, *dual annealing* dan kombinasi annealing dan HMT diharapkan dapat menghasilkan pati yang tahan panas serta dapat meningkatkan sifat fungsional dan sifat amilografi dari pati gadung.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan untuk modifikasi pati gadung adalah umbi gadung yang berasal dari Desa Saguling, Kabupaten Bandung dengan umur umbi 6–7 bulan dengan warna umbi berwarna putih-kekuningan, serta bahan penunjang antara lain air bersih, aquades, larutan air kapur 15%, *pouch ziplock*, dan *silica gel*.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, ayakan 100 mesh, blender, *centrifuge*, *chromameter*, 22 23 *grinder*, kain saring, oven kabinet, oven vakum, *ravid visco analyzer* (RVA), dan peralatan gelas lainnya.

Pembuatan Pati Gadung

Pati gadung dibuat dengan cara ekstraksi basah (Kumoro *et al.*, 2019). Pertama, umbi gadung dicuci untuk menghilangkan kotoran, kemudian dikupas dan diiris hingga diperoleh ketebalan 0,3 cm. Irisan gadung direndam dalam larutan kapur dengan konsentrasi 15% selama 12 jam, kemudian dicuci hingga tidak ada padatan kapur yang

menempel pada umbi. Irisan gadung digiling dan ditambahkan air dengan perbandingan air dan pati 3:1 (b/v), kemudian disaring hingga dua kali. Semua filtrat diendapkan selama 24 jam, dicuci dengan air bersih, dan dikeringkan pada suhu 50 °C selama 16 jam menggunakan pengering kabinet. Pati gadung yang telah kering kemudian digiling kembali dan diayak dengan ukuran 100 mesh.

Modifikasi *Dual Ann*, *Dual HMT*, dan *Ann + HMT* pada Pati Gadung

Modifikasi *dual annealing* pati gadung diawali dengan penimbangan pati gadung sebanyak 30 gram, kemudian ditambahkan air dengan perbandingan 1:3 (b/v). Suspensi pati dipanaskan dalam oven kabinet pada suhu 45 °C dan 55 °C selama 16 jam. Suspensi pati kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 16 jam. Pati digiling kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Proses modifikasi dilakukan dua kali sehingga diperoleh pati gadung termodifikasi *dual annealing* (Hu *et al.*, 2020).

Modifikasi *dual HMT* dilakukan dengan pati gadung diatur kadar airnya dengan cara disemprot dengan aquades, diaduk hingga kadar airnya mencapai 30%. Pati kemudian diinkubasi dalam lemari pendingin pada suhu 4–5 °C selama 24 jam. Pati gadung dikemas dalam aluminium foil yang ditutup rapat, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 16 jam. Pati kemudian dikeringkan pada suhu 50°C selama 10 jam. Pati kemudian dihancurkan menggunakan mesin penggiling dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Proses modifikasi dilakukan dua kali sehingga diperoleh pati gadung termodifikasi *dual HMT* (Marta *et al.*, 2019). Sedangkan pati modifikasi ANN + HMT dilakukan dengan melakukan modifikasi ANN terlebih dahulu dilanjutkan dengan modifikasi HMT seperti pada prosedur sebelumnya.

Analisis Sifat Fungsional Pati

Kelarutan dan volume pengembangan ditentukan berdasarkan (Collado & Corke, 1999), dengan menimbang 0,35 g pati gadung yang disuspensikan dalam 12,5 mL akuades, kemudian dibaca volume totalnya dan dihomogenkan menggunakan vortex selama 30 detik. Suspensi pati dipanaskan pada suhu 80 °C selama 30 menit dalam penangas air, kemudian didinginkan selama 1 menit dalam air dingin, dan disentrifugasi selama 30 menit. Volume supernatan dibaca untuk menghitung volume pengembangan dan kemudian dikeringkan pada suhu 110 °C selama 24 jam dalam oven untuk menghitung kelarutan.

Kapasitas penyerapan air (KPA) ditentukan berdasarkan (Kadan *et al.*, 2003). 1 g pati gadung ditambahkan ke dalam 10 mL akuades dan kemudian dihomogenkan menggunakan vortex mixer selama 30 detik. Suspensi pati diinkubasi pada suhu 25 °C selama 30 menit, kemudian disentrifugasi selama 30 menit. KPA dihitung berdasarkan jumlah air yang diserap dalam pati.

Analisis Kromatisitas Warna

Kromatisitas warna pati gadung dilakukan dengan menggunakan instrumen kromameter (Spektrofotometer CM-5, Konica Minolta, Jepang). Pati gadung ditaruh dalam cawan dan kromatisitasnya dibaca. Pengujian dilakukan dengan sistem warna *Hunter L**, *a**, dan *b**.

Analisis Sifat Amilografi

Sifat amilografi pati gadung ditentukan menggunakan Rapid Visco Analyzer-SM2 (Koksel *et al.*, 2008). Sebanyak 3,5 g pati gadung ditambahkan ke dalam 25 mL akuades dalam tabung RVA, kemudian dipasang pada instrumen RVA. Pengujian dilakukan selama 12 menit, dengan suhu awal dipertahankan pada 50 °C selama 1 menit, kemudian

dipanaskan hingga mencapai suhu 95 °C dan dipertahankan selama 5 menit, kemudian suhu diturunkan kembali hingga mencapai 50 °C dan dipertahankan selama 5 menit.

Analisis statistik

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA, kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan pada nilai $p < 0,05$ dengan *software PASW Statistics 18*.

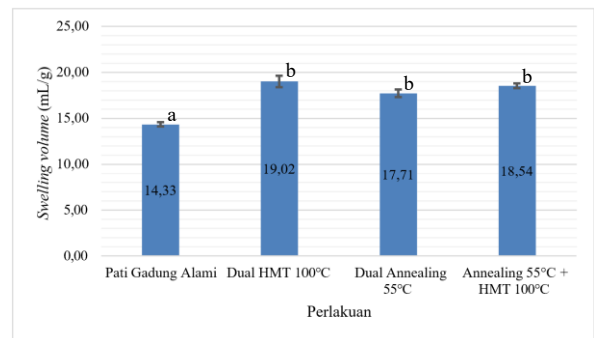
HASIL DAN PEMBAHASAN

Swelling volume dan Kelarutan

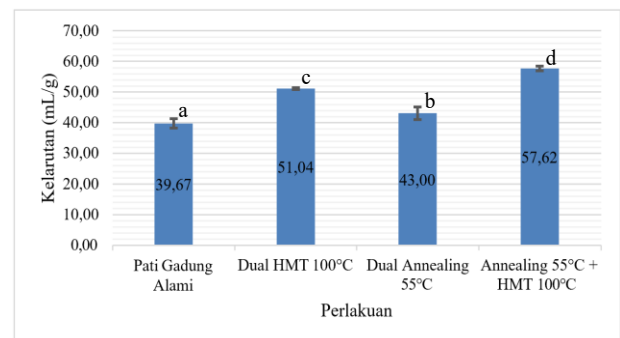
Swelling volume dan *solubility* digunakan untuk mengukur interaksi antara rantai pati bercabang dalam domain amorf dan kristalin (Duan *et al.*, 2020). *Swelling volume* adalah kemampuan untuk menghidrasi yang dimiliki oleh pati dalam kondisi suhu dan kadar air tertentu (Mir & Bosco, 2014). *Solubility* pati merupakan hasil *leaching* amilosa yang berdifusi keluar dari granula pati saat mengembang. *Leaching* ini menunjukkan adanya gangguan sementara pada granula pati yang terjadi saat pati dipanaskan dalam air.

Nilai *swelling volume* pati alami dan pati termodifikasi dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1, menunjukkan bahwa modifikasi *dual ANN*, *dual HMT*, dan *ANN+HMT* berpengaruh signifikan terhadap *swelling volume* pati gadung ($p < 0,05$). *Swelling volume* tertinggi diperoleh dari perlakuan modifikasi *dual HMT*, dengan nilai 19,67 mL/g, sementara *swelling volume* terkecil ditemukan pada pati alami, yaitu 14,2 mL/g. Semua perlakuan menunjukkan peningkatan volume pembengkakan dibandingkan dengan pati alami. Peningkatan volume pembengkakan pada pati yang dimodifikasi disebabkan oleh kerusakan pada permukaan pati, yang menghasilkan pori dan retakan.

Modifikasi dengan *dual HMT* menghasilkan *swelling volume* yang lebih tinggi karena kerusakan yang lebih besar pada permukaan granula. Pori dan retakan ini dihasilkan oleh kavitasi akustik selama pemanasan, yang menciptakan pati berpori dan mempermudah penetrasi air dan hidrasi pati (Subroto *et al.*, 2021). Struktur berpori ini memudahkan penetrasi air ke dalam molekul pati pada daerah amorf, sehingga mempercepat penyerapan air dan pembengkakan pati. Peningkatan nilai *swelling volume* selama proses HMT dapat disebabkan oleh kerusakan ikatan hidrogen pada granula pati akibat pemanasan. Penggunaan suhu tinggi dan jumlah air yang berlebih selama proses HMT menyebabkan ikatan hidrogen antara bagian amorfus dan kristalin terputus, lalu terikat dengan hidrogen dari air karena pati menjadi lebih hidrofilik. Peningkatan kemampuan pati dalam mengikat air setelah mengalami modifikasi dapat menyebabkan peningkatan *swelling volume* (Adebawale *et al.*, 2005). Modifikasi *dual annealing* menghasilkan *swelling volume* yang lebih tinggi karena perubahan dalam struktur kristal pati. Proses ini dapat mengubah struktur kristal dari bentuk yang lebih rapat menjadi bentuk yang lebih longgar atau amorf, yang memungkinkan pati untuk menyerap lebih banyak air. Proses *annealing* dapat menyebabkan pemecahan atau redistribusi ikatan dalam struktur kristal pati, sehingga meningkatkan ketersediaan ruang bagi air untuk memasuki dan menyebabkan pembengkakan. Pada modifikasi kombinasi *annealing* + HMT juga mengalami peningkatan *swelling volume* secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan pati gadung alami. Hal ini dapat disebabkan oleh kombinasi sinergis dari perlakuan modifikasi ganda yang memengaruhi perubahan pada rantai amilopektin pati, dibandingkan dengan modifikasi tunggal (Subroto *et al.*, 2022).



Gambar 1. *Swelling volume* pati gadung alami dan termodifikasi



Gambar 2. Kelarutan pati gadung alami dan termodifikasi.

Ukuran molekul pati memengaruhi kemampuan pembengkakan, di mana ukuran molekul yang lebih kecil memungkinkan pati untuk membengkak lebih mudah. Selain itu, pembengkakan pati dipengaruhi oleh kandungan amilosa dan amilopektin serta bagian amorf dan kristalin dari pati. Pati dengan bagian amorf yang lebih besar cenderung mengalami gelatinisasi lebih mudah karena bagian ini mampu menyerap lebih banyak air, sehingga volume pembengkakan meningkat. Bagian amorf ini mengandung lebih banyak amilosa dibandingkan amilopektin. Semakin tinggi kadar amilosa, semakin banyak gugus hidrofilik (COOH) dan air yang terikat, yang menyebabkan *swelling volume* meningkat (Bukhori *et al.*, 2019).

Pati dengan *swelling volume* tinggi memiliki daya cerna yang baik dan dapat meningkatkan sifat makanan dalam berbagai aplikasi. Pati dengan *swelling volume* tinggi sangat berguna dalam produk *bakery*, seperti roti, karena dapat membantu dalam proses pengembangan adonan. Sebaliknya, pati dengan *swelling volume* rendah lebih cocok untuk produk yang tidak memerlukan pengembangan besar, seperti mie.

Kelarutan pati dihasilkan dari proses *leaching* amilosa yang terdisosiasi dan berdifusi keluar dari granula selama pembengkakan. Proses *leaching* ini merupakan perubahan dari keteraturan menjadi ketidakteraturan pada granula pati yang terjadi saat pati dipanaskan dengan air (Jyothi *et al.*, 2011). Kelarutan pati gadung alami dan termodifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.

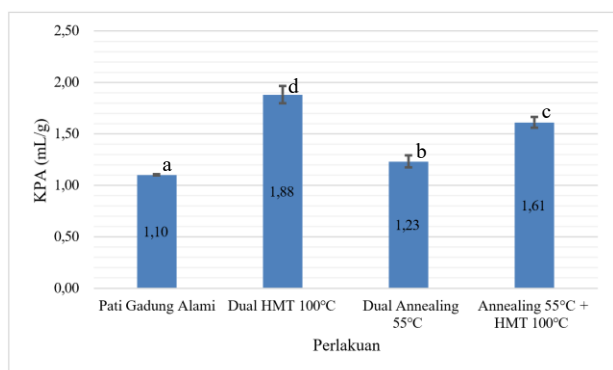
Berdasarkan Gambar 2, modifikasi *dual ANN*, *dual HMT*, dan *ANN+HMT* berpengaruh signifikan terhadap kelarutan pati gadung ($p < 0,05$). Kelarutan tertinggi tercatat pada modifikasi dengan kombinasi ANN dan HMT yaitu sebesar 57,62%, sementara kelarutan terendah ditemukan pada pati alami, yaitu sebesar 39,67%. Kadar kelarutan pada modifikasi kombinasi ANN dan HMT meningkat dari 39,67% menjadi 57,62%, atau 1,43 kali lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami.

Peningkatan nilai kelarutan ini disebabkan oleh modifikasi kombinasi ANN dan HMT yang menyerang granula pati, khususnya bagian amorf tempat amilosa berada. Akibatnya, amilosa bocor dari granula dan berdifusi ke dalam air, meningkatkan kelarutan pati. Selain itu, modifikasi kombinasi ANN dan HMT juga menyebabkan kerusakan fisik pada granula pati, membuatnya menjadi berpori dan retak. Modifikasi kombinasi menghasilkan lebih banyak retakan dan pori, yang mempermudah air untuk berdifusi ke dalam granula pati, sehingga meningkatkan pelarutan amilosa dari bagian amorf pati (Ulfa *et al.*, 2022). Modifikasi *dual HMT* dapat meningkatkan nilai kelarutan, hal ini disebabkan oleh modifikasi HMT yang mengurangi indeks kristalinitas pati, sehingga memperbesar area amorf pada pati. Dengan meningkatnya area amorf, air lebih mudah masuk ke dalam granula pati, yang pada gilirannya meningkatkan kelarutan pati. Peningkatan proporsi bagian amorf pada molekul amilosa dan amilopektin mempengaruhi pelepasan amilosa. Modifikasi *dual annealing* mengalami peningkatan pada nilai kelarutan. Pemanasan pati dengan jumlah air yang berlebih dapat mengganggu struktur kristalin pati, mengakibatkan kerusakan pada ikatan hidrogen dan pelepasan molekul hidrogen dari grup hidroksil amilosa dan amilopektin (Ratnayake *et al.*, 2002). Hal ini menyebabkan peningkatan kelarutan pati gadung alami. Peningkatan kelarutan pati terjadi karena leaching amilosa, yang memisahkan diri dan berdifusi keluar dari granula pati selama pembengkakan (*swelling*).

Kapasitas Penyerapan Air

Kapasitas penyerapan air digunakan untuk mengukur kemampuan pati dalam mengikat dan menahan air yang telah diserap oleh pati tertentu (Nawaz *et al.*, 2018). Parameter ini dapat berkaitan dengan karakteristik pati lainnya. Kapasitas penyerapan air pati umbi gadung alami dan termodifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, perlakuan modifikasi pada pati gadung alami menunjukkan pengaruh terhadap kapasitas penyerapan air (KPA) pati gadung secara signifikan ($p < 0,05$). Modifikasi dengan *dual HMT*, dan kombinasi ANN dan HMT memberikan peningkatan nyata dalam KPA, sementara perlakuan *dual ANN* tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam peningkatan KPA. Hal ini disebabkan oleh pengembangan bagian amorf pada granula pati selama proses HMT, yang mengakibatkan beberapa ikatan hidrogen antara bagian amorf dan kristalin terputus dan berikatan dengan hidrogen dari air. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah gugus hidrofilik. Semakin banyak gugus hidrofilik yang tersedia untuk berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen, semakin tinggi kapasitas pati untuk menyerap air (Wani *et al.*, 2016).



Gambar 3. Kapasitas penyerapan air (kpa) pati gadung alami dan termodifikasi

Tabel 1. Warna pati gadung alami dan pati gadung termodifikasi

Perlakuan	L*	a*	b*	ΔE*
Pati Gadung Alami	96,29 ± 0,01	-0,34 ± 0,01	3,34 ± 0,01	0,00 ± 0,00
Dual HMT 100°C	93,12 ± 0,01	0,53 ± 0,01	8,66 ± 0,01	14,70 ± 0,018
Dual Annealing 55°C	95,70 ± 0,01	-0,37 ± 0,01	4,27 ± 0,01	0,61 ± 0,003
Annealing 55°C + HMT 100°C	92,35 ± 0,01	0,23 ± 0,01	7,90 ± 0,01	14,25 ± 0,030

Perlakuan dari pemanasan HMT dan *annealing* juga menurunkan sifat hidrofobik pada pati alami, dimana sifat hidrofobik akan semakin bertambah dengan penambahan level moisture (kadar air) pada proses HMT (Olayinka *et al.*, 2008). Secara keseluruhan, penambahan proses modifikasi HMT dan *annealing* dapat meningkatkan kualitas pada produk pengolahan pati dikarenakan sifat hidrasi yang kurang pada pati alami akan diperbaiki setelah mengalami proses HMT dan *annealing*.

Kromatisitas Warna

Warna adalah parameter krusial dalam industri pangan karena dapat menunjukkan kualitas makanan dan mempengaruhi penerimaan konsumen. Sistem CIE LAB (L*, a*, b*) adalah metode pengujian yang paling umum digunakan dalam analisis warna makanan, karena mampu menggambarkan warna secara konsisten dan mendekati persepsi mata manusia (León *et al.*, 2006; Wu & Sun, 2013). Sistem ini memiliki tiga koordinat independen yang menginformasikan tentang tiga atribut warna: lightness (kecerahan), hue (warna), dan chroma (kekuatan warna). L* menggambarkan kecerahan dengan nilai antara 0 (hitam) hingga 100 (putih), sedangkan a* mengukur rentang dari hijau (-) hingga merah (+), dan b* mengukur rentang dari biru (-) hingga kuning (+), dengan nilai dari -120 hingga 120.

Nilai L*, a*, dan b* pati gadung alami dan modifikasi disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa warna semua perlakuan pati gadung hanya mengalami perubahan minor. Tingkat kecerahan (L*) untuk semua perlakuan berkisar antara 92,35 hingga 96,29 menunjukkan bahwa semua pati gadung memiliki warna putih cerah. Berdasarkan data pada Tabel 1. Pati Alami menghasilkan warna yang lebih cerah dibandingkan dengan pati gadung termodifikasi. Modifikasi dengan *dual ANN* 55°C, *dual HMT* 100°C dan kombinasi ANN 55°C + HMT 100°C menunjukkan penurunan tingkat kecerahan, kemungkinan disebabkan oleh suhu tinggi yang menyebabkan pencoklatan non-enzimatis selama proses modifikasi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya risiko reaksi Maillard seiring dengan kenaikan suhu pemanasan. Reaksi Maillard adalah proses pencoklatan non-enzimatis yang terjadi antara karbohidrat, khususnya gula pereduksi, dan gugus amina primer pada suhu tinggi. Proses ini dapat menyebabkan sampel berubah warna menjadi coklat saat dipanaskan, akibat pembentukan pigmen melanoidin yang berwarna coklat, sehingga warna pati menjadi lebih gelap.

Nilai a* tertinggi adalah -0,37 dan terendah adalah 0,53 sedangkan nilai b* tertinggi adalah 8,66 dan terendah adalah 3,34. Nilai a* yang negatif menunjukkan indikasi pewarnaan kehijauan dalam skala warna, sedangkan nilai a* yang positif menunjukkan adanya indikasi pewarnaan kemerahan. Dalam skala warna b* yang positif menunjukkan indikasi pewarnaan kekuningan. Terdapat kecenderungan

bahwa nilai a^* sampel meningkat dengan suhu HMT yang digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa nilai a^* (kebiruan) berbanding terbalik dengan nilai L^* tetapi berbanding lurus dengan nilai b^* . Berdasarkan Tabel 1, semua sampel pati umbi gadung menunjukkan nilai b^* positif, menandakan dominasi warna kekuningan pada pati gadung yang dihasilkan. Sampel pati termodifikasi pada *dual* HMT 100°C memiliki nilai b^* tertinggi, yaitu $8,66 \pm 0,01$, sementara pati gadung alami memiliki nilai b^* terendah, yaitu $3,34 \pm 0,01$. Peningkatan nilai a^* dan b^* pada pati umbi gadung juga bisa disebabkan oleh reaksi Maillard yang terjadi akibat perlakuan termal selama proses modifikasi pati.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua pati gadung yang dimodifikasi memiliki nilai ΔE yang relatif tinggi dibandingkan dengan pati gadung alami. *Dual annealing* menghasilkan nilai ΔE terendah, yaitu 0,61 yang menunjukkan perbedaan warna yang sangat kecil antara pati gadung alami dan pati gadung termodifikasi *dual annealing*. Sebaliknya, perlakuan *dual* HMT 100°C menunjukkan nilai ΔE tertinggi, yaitu 14,70. Secara umum, perlakuan HMT dan kombinasi ANN + HMT menunjukkan nilai ΔE berkisar antara 13-15 yang menandakan adanya perbedaan warna yang cukup terlihat secara visual. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh penggunaan suhu tinggi yang menyebabkan reaksi pencoklatan non-enzimatik, menghasilkan warna kuning kecokelatan pada pati.

Sifat Amilografi atau *pasting properties*

Pati adalah bahan penting dan serbaguna yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai produk makanan serta bahan kimia industri lainnya. Sifat amilografi pati menggambarkan perubahan kekentalan pasta pati pada suhu yang berbeda ketika dipanaskan dengan jumlah air yang tepat (Devi & Sit, 2019). Untuk menganalisis sifat amilografi pati gadung, digunakan alat *Rapid Visco Analyzer* (RVA). Penggunaan RVA lebih praktis karena waktu pengukurannya yang lebih singkat dan jumlah sampel yang dibutuhkan lebih sedikit. Sifat amilografi pati gadung alami dan pati gadung modifikasi FMT dan ANN menggunakan RVA dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Suhu Gelatinisasi Awal

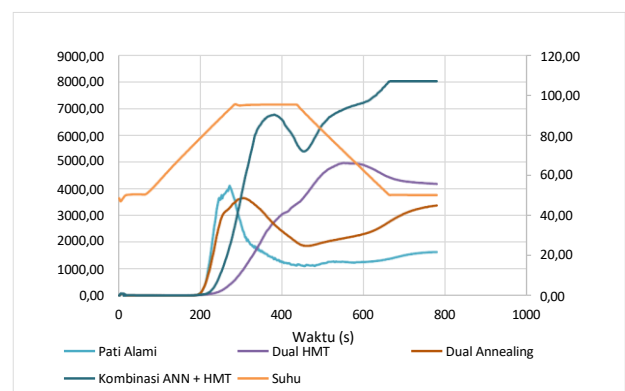
Suhu awal gelatinisasi menunjukkan suhu minimum yang dibutuhkan dalam memanaskan pati, serta suhu dimana mulai terbentuknya viskositas selama pemanasan atau mulainya gelatinisasi pati (W. Li *et al.*, 2014). Semakin tinggi suhu gelatinisasi maka semakin banyak energi panas yang dibutuhkan untuk terjadinya gelatinisasi pati.

Modifikasi *dual* HMT (*Heat Moisture Treatment*) dan modifikasi ANN+HMT berpengaruh signifikan pada suhu awal gelatinisasi ($p < 0,05$), yaitu menghasilkan suhu awal gelatinisasi pati yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati umbi gadung alami. Sampel pati termodifikasi dengan *dual* HMT pada suhu 100°C menunjukkan suhu awal gelatinisasi tertinggi, yaitu $78,57 \pm 1,53^\circ\text{C}$, sedangkan pati gadung termodifikasi *dual Annealing* memiliki suhu awal gelatinisasi terendah, yaitu $76,18 \pm 0,55^\circ\text{C}$. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kombinasi modifikasi ANN + HMT dapat meningkatkan suhu gelatinisasi pati gadung dibandingkan dengan pati gadung alami atau yang hanya dimodifikasi dengan *dual* ANN. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi ANN dapat meningkatkan suhu awal gelatinisasi ketika dikombinasikan dengan HMT. Suhu awal gelatinisasi yang tinggi menunjukkan bahwa pembengkakan granula pati dimulai pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami selama proses pemasakan (Fonseca *et al.*, 2021).

Tabel 2. Sifat amilografi pati gadung alami dan termodifikasi.

Parameter	Perlakuan			
	Pati Alami	Modifikasi <i>Dual Annealing</i>	Modifikasi <i>Dual</i> HMT	Kombinasi ANN + HMT
Suhu	76,18±0,22 ^a	75,73±0,55 ^a	78,57±1,53 ^c	76,92±0,64 ^b
Gelatinisasi Awal (°C)				
Viskositas	4161±608,0	3381±117,55 ^a	3820,67	6774,67±18
Puncak (cP)	4 ^a		±307,30 ^a	8,05 ^b
Viskositas	997,33±159	1853,00±71,7	3336,00±12	5377,00±39
Pasta	,08 ^a	6 ^b	0,34 ^c	3,48 ^d
Panas (cP)				
Viskositas	1689±98,73	3361±21,66 ^b	4166,67±15	8000±0,00 ^d
Pasta	^a		7,64 ^c	
Dingin (cP)				
Viskositas	3340,90±55	1790,67±107,45	± 5,29 ^a	1397,67±20
Breakdown (cP)	2,40 ^c	87 ^b		5,52 ^b
Viskositas	584,33±74,	1508±50,11 ^c	938 ±85,11 ^b	2623±393,4
Setback (cP)	19 ^a			8 ^d

Notasi huruf yang berbeda dalam baris yang sama menunjukkan nilai yang berbeda secara signifikan pada tingkat 5%, menurut uji Duncan.



Gambar 4. Amilografi pati gadung alami dan termodifikasi.

Suhu awal gelatinisasi merupakan salah satu sifat yang sangat dipengaruhi oleh modifikasi termal dengan HMT. Hasil penelitian kali ini menunjukkan bahwa HMT berpengaruh besar terhadap suhu awal gelatinisasi pati gadung. HMT secara signifikan dapat meningkatkan nilai suhu awal gelatinisasi pati. Hal ini terjadi karena modifikasi HMT dapat mengakibatkan pembentukan ikatan yang lebih kompleks antar amilosa di daerah kristal dan amilopektin di daerah amorf sehingga terbentuk kristal baru dengan ikatan yang lebih kuat. Struktur kristal yang kuat inilah yang membuat pati sulit menyerap air dan membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk dapat merusak struktur pati dan menyerap air agar dapat membentuk pasta pati. Hasil ini sesuai dengan penelitian terdahulu pati sukun yang dimodifikasi HMT pada kelembapan 30% dan suhu 100 °C selama 16 jam dapat meningkatkan suhu awal gelatinisasi pati sukun alami (Marta *et al.*, 2019).

Viskositas Puncak

Viskositas puncak merupakan titik kesetimbangan antara pembengkakan dan pemecahan granula pati yang mengacu pada pembengkakan maksimum granula sebelum pecah. Viskositas puncak berhubungan dengan swelling power serta kapasitas pengikatan air dari granula pati (K. Li *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa modifikasi modifikasi ANN+HMT berpengaruh signifikan terhadap viskositas puncak ($p < 0,05$). Nilai viskositas puncak tertinggi terdapat pada pati termodifikasi kombinasi ANN + HMT dengan nilai $6774,67 \pm 188,05$ (cP) dan nilai terendah terdapat pada perlakuan modifikasi *dual annealing* dengan nilai $3381 \pm 117,55$ (cP). Nilai viskositas puncak dari pati hasil modifikasi *dual* ANN dan *dual* HMT mengalami penurunan dibandingkan dengan pati gadung hasil modifikasi kombinasi ANN + HMT.

Modifikasi *dual* ANN dan *dual* HMT dapat menurunkan nilai viskositas puncak pada pati. Penurunan viskositas puncak setelah diberi perlakuan *dual* ANN dan *dual* HMT sejalan dengan nilai *swelling volume* karena hal tersebut berhubungan dengan kemampuan granula pati untuk mengembangkan. Reformasi interaksi rantai pati yang lebih kuat setelah dilakukan *dual* HMT menghasilkan *swelling volume* yang lebih rendah sehingga viskositas puncaknya juga rendah (Gunaratne & Hoover, 2002).

Viskositas Pasta Panas

Viskositas pasta panas merupakan viskositas pada saat suhu dipertahankan pada suhu 95°C . Viskositas pasta panas menunjukan ukuran kemudahan selama pemasakan dan kelemahan granula dalam mengembangkan. Berdasarkan Tabel 2, modifikasi *dual* ANN, *dual* HMT, dan ANN+HMT berpengaruh signifikan terhadap viskositas pasta panas ($p < 0,05$). Viskositas pasta panas pati alami dan termodifikasi berada pada rentang 997,33 - 5377 cP, di mana nilai tertinggi terdapat pada perlakuan modifikasi kombinasi antara ANN dan HMT dengan nilai $5377,00 \pm 393,48$ cP sedangkan nilai terendah terdapat pada pati alami dengan nilai $997,33 \pm 159,08$ cP. Perlakuan modifikasi pada pati memberikan pengaruh terhadap viskositas pasta panas pati gadung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas pasta panas pada pati termodifikasi meningkat dibandingkan dengan pati gadung alami. Peningkatan nilai viskositas pasta panas umumnya diikuti dengan penurunan *breakdown viscosity*. Berdasarkan hal tersebut, pati umbi gadung yang diberi perlakuan ANN + HMT memiliki kestabilan terhadap pemanasan sampel pati termodifikasi lainnya. Hal ini dapat terjadi karena pembentukan permukaan granula pati yang berpori menyebabkan peningkatan keteraturan matriks kristal. Berdasarkan hal tersebut, pati umbi gadung yang diberi perlakuan HMT setelah modifikasi *Annealing* memiliki kestabilan terhadap pemanasan dan pengadukan yang terbaik diantara sampel pati termodifikasi lainnya. Hal ini mungkin terjadi karena pembentukan permukaan granula pati yang berpori meningkatkan keteraturan matriks kristal akibat *leaching* amilosa selama proses ANN. Ketika dilakukan HMT, amilosa cenderung membentuk kompleks dengan komponen lain, yang dapat meningkatkan stabilitas pasta selama pemanasan (Jayanthi *et al.*, 2021).

Viskositas Pasta Dingin

Viskositas pasta dingin merupakan indikasi kestabilan pasta yang dipertahankan pada suhu dingin (5°C). Nilai dari viskositas pasta dingin ini terkait dengan kekerasan gel, retrogradasi, dan kandungan amilosa yang larut (W. Li *et al.*, 2014). Perlakuan modifikasi *dual* ANN, *dual* HMT, dan ANN+HMT berpengaruh signifikan terhadap viskositas pasta dingin pati gadung ($p < 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan

bahwa viskositas pasta dingin pada pati termodifikasi meningkat dibandingkan dengan pati gadung alami. Peningkatan nilai viskositas pasta dingin biasanya diikuti dengan penurunan *setback viscosity*. Viskositas pasta dingin tertinggi ditemukan pada pati gadung termodifikasi kombinasi ANN + HMT (8000 ± 0 cP), sementara viskositas terendah tercatat pada pati gadung alami ($1689 \pm 98,73$ cP). Modifikasi pati juga memiliki dampak signifikan terhadap viskositas pasta dingin dari pati gadung, baik yang alami maupun yang telah dimodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas pasta dingin pati yang telah dimodifikasi mengalami peningkatan dibandingkan dengan pati gadung yang alami. Peningkatan viskositas pasta dingin biasanya diikuti oleh penurunan *setback viscosity*. Nilai viskositas pasta dingin ini menggambarkan kemampuan pati dalam membentuk pasta atau gel saat proses pendinginan (Capule & Trinidad, 2016).

Viskositas Breakdown

Perubahan viskositas selama pemasakan disebut *breakdown viscosity* merupakan perbedaan antara viskositas puncak (PV) dengan viskositas pasta panas (TV), perubahan ini terkait dengan tingkat disintegrasi granula, pembengkakan granula yang terganggu, serta molekul amilosa yang keluar dari larutan saat proses pemecahan. *Breakdown viscosity* digunakan untuk mengevaluasi resistensi pati pada suhu yang tinggi (H. Li *et al.*, 2019).

Semakin kecil nilai viskositas *breakdown* maka pati semakin memiliki stabilitas pasta yang baik. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan modifikasi *dual* ANN, *dual* HMT, serta kombinasi ANN dan HMT mampu menurunkan nilai *breakdown viscosity* pada pati gadung secara signifikan ($p < 0,05$). Viskositas *breakdown* tertinggi ditemukan pada pati gadung alami, yaitu sebesar $3340,90 \pm 552,40$ cP. Sebaliknya, nilai *breakdown viscosity* terendah tercatat pada pati gadung termodifikasi dengan kombinasi *dual* HMT, yaitu $45 \pm 5,29$ cP. Modifikasi pati dengan HMT dapat meningkatkan keteraturan matriks kristalin dan membentuk kompleks amilosa-l lemak yang dapat menurunkan kapasitas pembengkakan granula pati dan memperbaiki stabilitas pasta selama pemanasan (Subroto *et al.*, 2019).

Viskositas Setback

Perubahan viskositas selama pendinginan disebut *setback viscosity* yang merupakan perbedaan antara viskositas puncak dengan viskositas pasta panas. Hal ini menunjukkan kemampuan retrogradasi pati setelah mengalami gelatinisasi (Zou *et al.*, 2020). Berdasarkan Tabel 2, modifikasi *dual* ANN, *dual* HMT, dan ANN+HMT berpengaruh signifikan terhadap viskositas *setback* pati gadung ($p < 0,05$). Viskositas *setback* tertinggi ditemukan pada pati gadung termodifikasi dengan kombinasi ANN dan HMT yaitu sebesar $2623 \pm 393,48$ cP. Sementara itu, pati gadung alami menunjukkan nilai viskositas *setback* terendah di antara sampel lainnya, yaitu $74,19$ cP. Semakin tinggi nilai *setback*, semakin besar kecenderungan terjadinya retrogradasi selama proses pendinginan. Modifikasi kombinasi ANN dan HMT pada pati umbi gadung dapat menaikkan viskositas *setback* karena terjadinya retrogradasi pati pada saat pendinginan. Retrogradasi dapat menyebabkan pembentukan kembali struktur kristal pati yang sudah mengalami gelatinisasi, dimana molekul amilosa akan berikatan satu sama lain melalui ikatan intermolekuler serta berikatan dengan cabang molekul amilopektin yang berada di tepi luar granula pati sehingga butir-butir pati akan bergabung kembali membentuk mikrokristal. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu pada pati kentang yang dimodifikasi HMT pada kelembapan 27% dan suhu 120°C

selama 16 jam dapat meningkatkan viskositas *setback* (Subroto *et al.*, 2019).

HMT dan ANN merupakan teknik modifikasi secara fisik yang mudah dan ekonomis, namun dapat memberikan aspek inovatif yang signifikan terhadap karakteristik pati. Modifikasi tersebut juga memberikan kontribusi baru dari penelitian ini terhadap pengembangan sifat fungsional dan stabilitas pati gadung agar dapat dimanfaatkan secara lebih luas.

KESIMPULAN

Modifikasi *dual HMT*, *dual Annealing* maupun kombinasi ANN + HMT berpengaruh terhadap sifat fungsional dan *pasting properties* atau amilografi pati gadung. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan dalam sifat amilografi, termasuk suhu awal gelatinisasi, viskositas pasta panas, viskositas pasta dingin, dan mampu menurunkan *breakdown viscosity* serta viskositas *setback* pada pati gadung termodifikasi. Namun, modifikasi ini juga menyebabkan penurunan kecerahan warna pada pati hasil modifikasi *dual HMT* dan kombinasi ANN + HMT. Modifikasi *dual HMT* merupakan perlakuan terbaik yang menunjukkan kestabilan pada suhu tinggi. Perlakuan ini ditandai dengan penurunan viskositas *breakdown* sebesar 74,22 kali. Selain itu, modifikasi *dual HMT* ini juga meningkatkan nilai *swelling volume* sebesar 1,29 kali dari pati gadung alami. Pada nilai KPA, modifikasi *dual HMT* mengalami kenaikan sebesar 1,71 dari pati gadung alami. Dengan demikian, modifikasi *dual HMT* efektif memperbaiki sifat fungsional dan stabilitas pati gadung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Padjadjaran dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale, K. O., Afolabi, T. A., & Olu-Owolabi, B. I. (2005). Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 974–983. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.12.007>
- Bukhori, J. Al, Karim, A., & Hariyadi, P. (2019). *Pengaruh Teknik Pengolahan Terhadap Karakteristik Kimia Dan Swelling Power Pada Tapioka Yang Dihasilkan*. 142–148.
- Capule, A. B., & Trinidad, T. P. (2016). Isolation and characterization of native and modified starch from adlay (*Coix lacryma jobi*-L.). *International Food Research Journal*, 23(3), 1199–1206.
- Collado, L. S., & Corke, H. (1999). Heat-moisture treatment effects on sweetpotato starches differing in amylose content. *Food Chemistry*, 65(3), 339–346. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00228-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00228-3)
- Deka, D., & Sit, N. (2016). Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.040>
- Devi, R., & Sit, N. (2019). Effect of single and dual steps annealing in combination with hydroxypropylation on physicochemical, functional and rheological properties of barley starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 1006–1014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.104>
- Duan, H., Tong, H., Zhu, A., Zhang, H., & Liu, L. (2020). Effects of heat, drought and their combined effects on morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. *Journal of Cereal Science*, 95, 103059. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103059>
- Estiasih, T., Ahmadi, Kgs., Sari, I. N. I., Kuliahsari, D. E., & Martati, E. (2022). Traditional detoxification of wild yam (*Dioscorea hispida* Dennst) tuber in chips processing at East Java, Indonesia. *Journal of Ethnic Foods*, 9(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s42779-022-00164-1>
- Fonseca, L. M., Halal, S. L. M. El, Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274, 118665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>
- Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(4), 425–437. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00354-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00354-X)
- Hoover, R., & Vasanthan, T. (1994). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydrate Research*, 252(C), 33–53. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0008-6215(94)90004-3)
- Hu, A., Wang, X., Li, L., Xu, T., & Zheng, J. (2020). Effects of annealing time on structure and properties of sweet potato starch. *Cereal Chemistry*, 97(3), 573–580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cche.10272>
- Jayanthi, B., Divya, D., Indran, S., Aruna, M., Karthika, R., Arjunan, S., Selvankumar, T., Manikandan, E., & Santhi, R. (2021). Influence of freeze-drying and fresh cooking on starch morphology and physicochemical and thermal properties of various tropical tubers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1794–1806. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.136>
- Jyothi, A. N., Sajeev, M. S., & Sreekumar, J. (2011). Hydrothermal modifications of tropical tuber starches – Effect of ANN on the physicochemical, rheological and gelatinization characteristics. *Starch - Stärke*, 63(9), 536–549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201000137>
- Kadan, R. S., Bryant, R. J., & Pepperman, A. B. (2003). Functional properties of extruded rice flours. *Journal of Food Science*, 68(5), 1669–1672. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12311.x>
- Kaur, B., Ariffin, F., Bhat, R., & Karim, A. A. (2012). Progress in starch modification in the last decade. *Food*

- Hydrocolloids*, 26(2), 398–404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.016>
- Koksel, H., Masatcioglu, T., Kahraman, K., Ozturk, S., & Basman, A. (2008). Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.04.007>
- Kumoro, A. C., Retnowati, D. S., Ratnawati, R., & Widiyanti, M. (2019). Effect of Temperature and Reaction Time on the Swelling Power and Solubility of Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) Tuber Starch during Heat Moisture Treatment Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1295(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012062>
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & León, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Li, H., Rongrong, W., Qun, Z., Gaoyang, L., Yang, S., & Ding, S. (2019). Morphological, structural, and physicochemical properties of starch isolated from different lily cultivars grown in China. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 737–757. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1603998>
- Li, K., Li, Q., Jin, C., Narayanamoorthy, S., Zhang, T., Sui, Z., Li, Z., Cai, Y., Wu, K., Zhang, Y., & Corke, H. (2020). Characterization of morphology and physicochemical properties of native starches isolated from 12 *Lycoris* species. *Food Chemistry*, 316, 126263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126263>
- Li, W., Xiao, X., Zhang, W., Zheng, J., Luo, Q., Ouyang, S., & Zhang, G. (2014). Compositional, morphological, structural and physicochemical properties of starches from seven naked barley cultivars grown in China. *Food Research International*, 58, 7–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.053>
- Marta, H., Cahyana, Y., Arifin, H. R., & Khairani, L. (2019). Comparing the effect of four different thermal modifications on physicochemical and pasting properties of breadfruit (*Artocarpus altilis*) starch. *International Food Research Journal*, 26(1), 269–276.
- Mir, S. A., & Bosco, S. J. D. (2014). Cultivar difference in physicochemical properties of starches and flours from temperate rice of Indian Himalayas. *Food Chemistry*, 157, 448–456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.057>
- Molavi, H., Razavi, S. M. A., & Farhoosh, R. (2018). Impact of hydrothermal modifications on the physicochemical, morphology, crystallinity, pasting and thermal properties of acorn starch. *Food Chemistry*, 245(October 2017), 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.117>
- Murdianto, W., & Pranoto, Y. (2018). Karakteristik Fisik Pati Ganyong (*Canna edulis kerr*) Hasil Modifikasi menggunakan Ozon. *Inovasi Pangan Lokal Untuk Mendukung Ketahanan Pangan*, April, 228–231.
- Nand, A. V., Charan, R. P., Rohindra, D., & Khurma, J. R. (2008). Isolation and properties of starch from some local cultivars of cassava and taro in Fiji. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*, 26(1), 45–48. <https://doi.org/10.1071/SP08007>
- Nawaz, H., Shad, M. A., Saleem, S., Khan, M. U. A., Nishan, U., Rasheed, T., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2018). Characteristics of starch isolated from microwave heat treated lotus (*Nelumbo nucifera*) seed flour. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 219–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.125>
- Olayinka, O. O., Adebawale, K. O., & Olu-Owolabi, B. I. (2008). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocolloids*, 22(2), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.004>
- Ratnayake, W. S., Hoover, R., & Warkentin, T. (2002). Pea starch: Composition, structure and properties - A review. *Starch/Staerke*, 54(6), 217–234. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200206\)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200206)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R)
- Santoso, B., Pratama, F., Hamzah, B., & Pambayun, R. (2015). Karakteristik fisik dan kimia pati ganyong dan gadung termodifikasi metode ikatan silang. *Agritech*, 35(3), 273–279.
- Subroto, E., Filianty, F., Indarto, R., & Andita Shafira, A. (2022). Physicochemical and functional properties of modified adlay starch (*Coix lacryma-jobi*) by microwave and ozonation. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1622–1634. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2096061>
- Subroto, E., Indarto, R., Marta, H., & Shalihah, S. (2019). Effect of heat - moisture treatment on functional and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L. var. Granola) starch. *Food Research*, 3(October), 469–476. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.3\(5\).110](https://doi.org/10.26656/fr.2017.3(5).110)
- Subroto, E., Indarto, R., Wulandari, E., & Astari, A. P. (2021). MODIFIKASI PATI HANJELI (*Coix lacryma-jobi* L.) BERPORI MELALUI ULTRASONIKASI DAN OZONASI. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(2), 117. <https://doi.org/10.20961/jthp.v14i2.54338>
- Ulfa, G. M., Nopriyani, I., Fathuroya, V., Putri, W. D. R., Fibrianto, K., & Widjanarko, S. B. (2022). Pengaruh Suhu Terhadap Daya Kembang, Kelarutan, dan Kapasitas Pengikatan Air pada Pati Ubi Jalar Termodifikasi Ultrasonik. *Teknologi Pertanian*, 23(3), 193–202.
- Wani, I. A., Sogi, D. S., Hamdani, A. M., Gani, A., Bhat, N. A., & Shah, A. (2016). Isolation, composition, and physicochemical properties of starch from legumes: A review. *Starch/Staerke*, 68(9–10), 834–845. <https://doi.org/10.1002/star.201600007>
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – A review.

Trends in Food Science & Technology, 29(1), 5–20.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>

- Zavareze, E. da R., Storck, C. R., de Castro, L. A. S., Schirmer, M. A., & Dias, A. R. G. (2010). Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry*, 121(2), 358–365.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.036>
- Zou, J., Xu, M., Wen, L., & Yang, B. (2020). Structure and physicochemical properties of native starch and resistant starch in Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.). *Carbohydrate Polymers*, 237, 116188.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116188>

Halaman ini sengaja dikosongkan