

Kajian Literatur: Produksi, Karakterisasi, dan Potensi Aplikasi Pati *Pachyrhizus erosus*

Indah Widyastuti¹

¹Politeknik Kesehatan TNI AU Ciembuleuit, indah.widyastuti25@gmail.com

ABSTRAK

Tinjauan ini mengkaji pati bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) sebagai polisakarida alami yang memiliki karakteristik kristalinitas tipe A, plastisitas molekuler yang tinggi, serta sifat biodegradabilitas yang mendukung pemanfaatannya sebagai biopolimer farmasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain: keterkaitan antara struktur, kondisi proses, dan kinerja fungsional pati bengkuang dalam konteks pengembangan sistem penghantaran obat. Berbagai studi eksperimental yang dianalisis menunjukkan bahwa pengaturan parameter proses, termasuk metode ekstraksi dan modifikasi pasca-ekstraksi, mampu mempengaruhi distribusi berat molekul, stabilitas termal, dan kemampuan pembentukan partikel. Ketiga aspek tersebut merupakan determinan penting bagi desain sistem penghantaran obat berbasis polisakarida, khususnya dalam pembentukan partikel mikro maupun nano yang terkontrol. Secara konseptual, sifat mudah terdegradasi melalui hidrolisis terarah dan potensi fungsionalnya menempatkan pati bengkuang sebagai kandidat menjanjikan untuk pembawa obat yang biokompatibel dan ramah lingkungan. Namun, implementasi pada formulasi farmasi masih memerlukan standarisasi parameter mutu, karakterisasi menyeluruh terhadap keamanan biologis, serta uji in vitro dan in vivo yang lebih komprehensif. Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahwa pati bengkuang memiliki prospek signifikan sebagai biopolimer alternatif dalam pengembangan sistem penghantaran obat, sekaligus mengidentifikasi agenda riset lanjutan yang diperlukan untuk mendukung translasi ke aplikasi klinis.

Kata kunci: *Pachyrhizus erosus*, pati bengkuang, ekstraksi, modifikasi pati, bioplastik

Literature Review: Production, Characterization, and Potential Applications of Pachyrhizus erosus Starch

ABSTRACT

This review investigates yam bean (*Pachyrhizus erosus*) starch as a natural polysaccharide that exhibits A-type crystallinity, high molecular plasticity, and biodegradability, its support potential use as a pharmaceutical biopolymer. Particular attention is given to the interplay among structural features, processing conditions, and functional performance of yam bean starch in the context of drug delivery system development. Analysis of experimental studies indicates that adjusting processing parameters, including extraction methods and post-extraction modifications, can modify molecular weight distribution, thermal stability, and particle-forming ability. These three attributes are key determinants of the design of polysaccharide-based drug delivery systems, particularly for the controlled formation of micro- and nanoparticles. Conceptually, the ease of degradation through directed hydrolysis and the functional versatility of yam bean starch, position it as a promising candidate for biocompatible and environmentally friendly drug carriers. However, successful implementation in pharmaceutical formulations still requires standardisation of quality parameters, comprehensive characterisation of biological safety, and more extensive in vitro and in vivo evaluations. Overall, this review highlights the significant potential of yam bean starch as an alternative biopolymer for the development of drug delivery systems and identifies future research agendas needed to support its translation toward clinical applications.

Key words: *Pachyrhizus erosus*, yam bean starch, extraction, starch modification, bioplastic materials

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan material berbasis hayati yang dapat terurai (*biodegradable*) mendorong riset intensif pada biopolimer alami, termasuk pati, sebagai alternatif material. Pati dikenal sebagai biopolimer yang terbarukan, melimpah, ekonomis, serta memiliki kemampuan membentuk film, bioplastik, aerogel, dan berbagai biomaterial fungsional untuk aplikasi pangan, farmasi, dan non-pangan. Kajian komprehensif menunjukkan pati berperan penting dalam pengembangan bioplastik, biofoam, dan material berbasis pori lainnya karena sifat biodegradabilitas dan ketersediaan yang luas (Jiang dkk., 2020). Selain itu, pati dan turunannya semakin banyak dimanfaatkan dalam aplikasi farmasi seperti sistem penghantaran obat dan bioadhesif, meskipun memerlukan optimasi sifat fisikokimia melalui modifikasi yang terkontrol (Chibuogwu dkk., 2019).

Dalam proses produksi pati, metode ekstraksi dan modifikasi pati menjadi tahapan krusial. Metode ekstraksi konvensional seperti *wet milling* dapat menghasilkan kemurnian tinggi hingga 99,5% (Singh dkk., 2003). Pendekatan enzimatik dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi proses, memperbaiki rendemen pati, serta mengurangi konsumsi energi dan limbah cair dibandingkan metode konvensional (Zhu, dkk 2015).

Berdasarkan literatur terbaru menegaskan pemilihan metode ekstraksi dan modifikasi secara langsung dapat mempengaruhi struktur kristalin, stabilitas termal, dan performa fungsional pati dalam aplikasi industri (Puri dkk., 2025; Xie dkk., 2012).

Salah satu sumber pati non-konvensional yang mulai mendapat perhatian adalah bengkuang (*Pachyrhizus erosus*). Meskipun literatur umum mengenai pati non-konvensional menegaskan bahwa asal botani dapat mempengaruhi morfologi granula, sifat termal, dan karakteristik reologi (Toor dkk., 2025; Zhu, 2015). Pemetaan yang terintegrasi antara proses ekstraksi dan komponen material yang terdapat pada pati bengkuang masih relatif terbatas.

Bukti empiris menunjukkan pendekatan asistif seperti ultrasonik dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi biomassa, mempercepat proses, serta meningkatkan karakteristik produk akhir dibandingkan metode konvensional (Chemat dkk., 2017). Kombinasi efek non-termal seperti

ultrasonik dengan modifikasi kimia terbukti mampu mengubah struktur molekuler, kristalinitas, dan stabilitas termal pati, sehingga menghasilkan sifat fungsional yang lebih spesifik (Gökmen dkk., 2012; Jambrak dkk., 2010). Hal ini menegaskan bahwa tahap ekstraksi dan pretreatment bukan sekedar proses pemisahan, melainkan sebagai penentu komponen material kritis.

Sementara perspektif produksi lanjut yang menjembatani skala laboratorium menuju kesiapan manufaktur dan standardisasi mutu belum dipetakan secara sistematis, khususnya untuk *Pachyrhizus erosus*.

Berdasarkan lanskap tersebut, kajian literatur ini diarahkan untuk menyusun kerangka integratif proses-struktur-sifat pati *Pachyrhizus erosus*, dengan menekankan pentingnya parameter ekstraksi, *pre-treatment* asistif, serta modifikasi terkontrol dalam menentukan atribut material kritis dan kinerja aplikasi. Pendekatan ini diharapkan mendukung peningkatan reproduibilitas, keterbandingan lintas studi, dan kesiapan translasi menuju produksi skala besar.

KAJIAN LITERATUR

Pati merupakan polisakarida utama pada tanaman berfungsi sebagai bentuk penyimpanan energi tersusun dari unit α -D-glukosa yang terikat melalui ikatan glikosidik α -(1 $\rightarrow$ 4) dan α -(1 $\rightarrow$ 6). Secara struktural, pati terdiri dari atas dua fraksi utama, yaitu amilosa (rantai linier) dan amilopektin (bercabang) yang tersusun dalam granula semi kristalin. Struktur ini membentuk pola kristalinitas khas (*A-type*, *B-type*, atau *C-type*) yang dapat mempengaruhi sifat gelatinisasi, reologi, dan stabilitas termal pati.

1. Karakteristik Fisikokimia dan Sifat Fungsional Pati Bengkuang

Pada tanaman leguminosa penghasil umbi seperti genus *Pachyrhizus*, pati berfungsi sebagai cadangan energi dalam akar penyimpanan (*storage root*). Kandungan pati pada umbi yang sudah dilaporkan sebesar 56-58% (basis kering), menunjukkan potensinya sebagai sumber karbohidrat struktural dan bahan baku industri (Agaba dkk., 2016).

Bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) merupakan tanaman legum tropis penghasil umbi kayu yang kaya akan karbohidrat dan memiliki profil pati yang khas dibandingkan sumber

konvensional seperti jagung atau singkong. Kandungan pati resisten (RS) dilaporkan sebesar 65-70%. Studi karakterisasi menunjukkan bahwa granula pati bengkang berbentuk poligonal hingga semi-sferis dengan permukaan halus dan tidak berpori (Shi dkk., 2021). Hasil analisis tepung bengkang menunjukkan suhu gelatinisasi sekitar 70°C, viskositas moderat, serta kapasitas penahan air tinggi (363%), mendukung aplikasi dalam sistem pangan fungsional (Buckman dkk., 2018).

Analisis difraksi sinar-X mengkonfirmasi pati bengkang memiliki pola kristalinitas tipe A, yang umumnya ditemukan pada pati sereal, dengan tingkat kristalinitas relatif berkisar antara 29-35% tergantung asal geografisnya (Shi dkk., 2021). Tingkat kristalinitas ini berkontribusi terhadap stabilitas termal dan karakteristik gelatinisasi pati.

Selain itu, selama tanaman tersebut dalam perkembangan akar, komposisi polisakarida mengalami perubahan dinamis. Kandungan pati akan meningkat seiring maturasi akar, sementara fruktooligosakarida dan inulin mengalami fluktuasi. Struktur polisakarida ini berkorelasi dengan indeks glikemik rendah (<25), yang mengindikasikan potensi nutrasetikal bengkang (González-Vázquez dkk., 2022).

2. Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap Struktur dan Komposisi atau Respons terhadap Modifikasi Proses

2.1 Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap Komposisi dan Integritas Granula

Metode ekstraksi merupakan tahap awal dalam menentukan kualitas dan integritas granula pati *Pachyrhizus erosus*. Variasi kondisi Ekstraksi menggunakan metode ultrasonik dapat meningkatkan kemurnian polisakarida larut air serta menurunkan kandungan protein dan abu, dibandingkan metode konvensional (Chemat dkk., 2017; Jambrak dkk., 2010).

Fermentation-assisted extraction methods dapat meningkatkan derajat hidrolisis dan viskositas polisakarida larut air, menunjukkan bahwa metode ekstraksi mempengaruhi derajat polimerisasi dan sifat rheologi (Singla dkk., 2020; Sui dkk., 2017). Walaupun dilakukan pada *P. ahipa*, integrasi ekstraksi pati dan pemulihan protein menunjukkan bahwa modifikasi pelarut dapat mempertahankan rendemen pati tanpa mengubah karakteristik termalnya secara signifikan (Singla dkk., 2020). Pendekatan ini

berpotensi diaplikasikan pada sistem *P. erosus*, namun memerlukan validasi eksperimental lebih lanjut.

2.2 Pengaruh Modifikasi terhadap Struktur dan Sifat Fungsional

Berbeda dengan tahap ekstraksi, modifikasi terhadap struktur bertujuan mengubah rangka struktural pati secara terkontrol untuk meningkatkan sifat fungsional tertentu. Penelitian (Gong dkk., 2019) pemanasan dielektrik dapat meningkatkan suhu gelatinisasi hingga mendekati 100°C, menunjukkan reorganisasi struktur kristalin dan peningkatan stabilitas termal. Modifikasi menggunakan asam sitrat dan *heat-moisture treatment* (HTM) mampu menurunkan derajat kristalinitas tetapi dapat meningkatkan stabilitas termal, sehingga terjadi perubahan pada domain amorf dan pembentukan ikatan silang ringan terhadap meningkatnya energi transisi (Herrero dkk., 2014).

3. Aplikasi Film dan Bioplastik Berbasis Pati Bengkang

Berbagai kajian menyebutkan bahwa pati merupakan kandidat utama dalam pengembangan bioplastik dan material kemasan *biodegradable* karena sifatnya yang mudah terurai dan biaya bahan baku cukup rendah (Hafizulhaq dkk., 2020). Penggunaan pati dalam film kemasan semakin berkembang, khususnya melalui modifikasi kimia untuk meningkatkan sifat mekanik dan *barrier* (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014).

METODE PENELITIAN

Tinjauan artikel ini dikembangkan dengan cara mengumpulkan dan menganalisis secara sistematis literatur yang telah direview. Pencarian literatur dilakukan melalui basis data PubMed, ScienceDirect, Scopus dan Google Scholar menggunakan artikel jurnal yang diterbitkan dalam dua belas tahun terakhir (2014-2026); penelitian asli yang telah direview oleh rekan sejawat, artikel ulasan, dan meta-analisis; dengan kata kunci yang digunakan meliputi kombinasi berikut: "*Pachyrhizus erosus*, ekstraksi, aplikasi, modifikasi struktur".

Tahap seleksi dan evaluasi mengikuti pedoman PRISMA yang disesuaikan untuk tinjauan naratif, termasuk analisis tematik kualitatif untuk mengidentifikasi bukti konvergen antara morfologi fisik dan data karakterisasi.

Semua data diekstraksi secara manual dengan mencocokkan basis data dan diverifikasi menggunakan alat pelacakan kutipan di Mendeley Reference Manager.

PEMBAHASAN

Tanaman *Pachyrhizus erosus* menyimpan cadangan karbohidrat utamanya pada akar penyimpanan (*storage root*). Secara morfologis sering disebut sebagai “umbi”. Kandungan pati pada akar *Pachyrhizus* dilaporkan mencapai 56-58% basis kering. Hal ini menunjukkan bahwa pati merupakan fraksi polisakarida yang dominan dalam jaringan tersebut (Agaba dkk., 2016). Selain pati, umbi bengkuang mengandung polisakarida non-pati seperti fruktooligosakarida (FOS) dan inulin yang bersifat larut air dan berperan sebagai komponen karbohidrat fungsional (González-Vázquez dkk., 2022). Secara struktural, pati tersimpan dalam bentuk granula di dalam amiloplas sel parenkim umbi, sedangkan FOS dan inulin berada dalam fase larut pada vakuola sel, sehingga keduanya tidak terintegrasi dalam struktur kristalin pati (Shi dkk., 2021).

1. Karakteristik Fisikokimia dan Sifat Fungsional Pati Bengkuang

Pati bengkuang menunjukkan pola kristalinitas tipe A dengan tingkat kristalinitas relatif 29-35% (Shi dkk., 2021). Pola ini menunjukkan struktur rantai amilopektin yang tersusun dalam bentuk *double helix* (tersusun rapat), memiliki kandungan air kristal lebih rendah dan jarak antar heliks lebih kecil dibandingkan tipe B. Sehingga struktur ini membuat ikatan hidrogen antar rantai lebih kuat dan difusi air lebih terbatas. Meskipun pati bengkuang menunjukkan pola kristalinitas tipe A, dilaporkan suhu gelatinisasinya sekitar 70°C (*moderate*) (Buckman dkk., 2018; Shi dkk., 2021), dimana suhu gelatinisasi tidak hanya dipengaruhi tipe kristal tetapi juga dipengaruhi oleh panjang rantai amilopektin, distribusi berat molekul, rasio amilosa-amilopektin, derajat kristalinitas total, dan keberadaan domain amorf. Meskipun pati bengkuang termasuk dalam tipe kristal A, namun jika kristalinitas total tidak tinggi, lamela tidak sangat teratur, dan domain amorf yang besar akan mempengaruhi suhu gelatinisasi tetap menjadi *moderate*. Dengan demikian, karakteristik kristalin pati bengkuang berperan penting dalam menentukan respon termalnya dan sifat fungsionalitas yang dihasilkan.

2. Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap Struktur dan Komposisi atau Respons terhadap Modifikasi Proses

Metode ekstraksi dapat menentukan kualitas granula pati yang diperoleh dari umbi *Pachyrhizus erosus*. Variasi kondisi ekstraksi dapat mempengaruhi kemurnian, derajat polimerisasi, serta komposisi non-pati yang tersisa pada produk akhir. Ekstraksi menggunakan metode ultrasonik dilaporkan dapat meningkatkan kemurnian polisakarida dan menurunkan kandungan protein serta abu, jika dibandingkan dengan metode konvensional, menunjukkan intensitas proses dapat mempengaruhi efisiensi pemisahan dan komposisi kimia dari pati (González-Vázquez dkk., 2022; Ijarotimi dkk., 2018; Toor dkk., 2025). Metode *fermentation assisted extraction* dilaporkan dapat meningkatkan derajat hidrolisis dan modifikasi viskositas larutan polisakarida, sehingga mengindikasikan kondisi ekstraksi dapat mempengaruhi distribusi berat molekul dan sifat reologi awal (Singla dkk., 2020; Sui dkk., 2017). Menurut (Kisambira dkk., 2015) dilakukan pada *Pachyrhizus sp*, studi tersebut menunjukkan bahwa modifikasi pelarut dalam sistem ekstraksi terpadu dapat mempertahankan rendemen pati tanpa perubahan signifikan pada karakteristik termalnya. Temuan ini menunjukkan bahwa optimasi parameter ekstraksi memungkinkan peningkatan efisiensi pemisahan tanpa merusak struktur kristalin granula, dan pendekatan tersebut berpotensi diadaptasi untuk sistem *P. erosus* dengan tetap memerlukan validasi eksperimental lebih lanjut.

Berbeda dengan ekstraksi yang berfokus pada pemisahan dan kemurnian granula, tahap modifikasi pasca ekstraksi secara langsung dapat mempengaruhi struktural pati. Pemanasan dielektrik dilaporkan mampu meningkatkan suhu gelatinisasi mendekati 100°C. Hal ini menunjukkan terjadinya reorganisasi struktur kristalin dan peningkatan stabilitas termal. Sebaliknya, metode dengan perlakuan asam sitrat dan *heat moisture treatment* (HMT) menurunkan derajat kristalinitas tetapi dapat meningkatkan stabilitas termal (Akhila & Sunooj, 2022; Alimi & Workneh, 2018; Maior dkk., 2021). Penelitian (Maior dkk., 2021) menunjukkan perubahan pada domain amorf dan terbentuk *cross link* yang dapat berkontribusi terhadap peningkatan energi transisi. Selain itu, derajat hidrolisis (DE) menjadi

parameter kritis dalam sistem rekayasa partikel. Pati dengan DE < 6,3% mampu membentuk partikel sferis stabil melalui *electrospraying* (Serrano-Villa dkk., 2025).

Dengan demikian, metode ekstraksi dan modifikasi pasca-ekstraksi memiliki peran yang berbeda tetapi saling berkaitan dalam kerangka proses-struktur-sifat. Ekstraksi menentukan kondisi awal granula (kemurnian, integritas, dan derajat polimerisasi).

3. Potensi Aplikasi Pati Bengkuang

Film berbasis pati bengkuang menunjukkan kekuatan tarik hingga 11,5 Mpa dalam kondisi tertentu dan nilai modulus 0,98 GPa, mendekati LDPE pada kondisi tertentu (Judawisastra dkk., 2018). Namun peningkatan absorpsi kelembapan pada campuran pati-PVA (Asrofi, 2019) menunjukkan bahwa sifat hidrofilik masih menjadi kendala dalam aplikasi kemasan.

PENUTUP

Pati *Pachyrhizus erosus* menunjukkan karakteristik struktural tipe A dengan plastisitas molekuler yang tinggi serta potensi aplikasi luas dalam biomaterial. Sifat biodegradabilitas, terhadap hidrolisis terkontrol menjadikan pati bengkuang kandidat potensial sebagai biomaterial farmasi. Bukti literatur menunjukkan pengaturan parameter proses mampu mempengaruhi distribusi berat molekul, stabilitas termal, dan kemampuan pembentukan partikel, yang merupakan faktor penting dalam penghantaran obat. Namun implementasi dalam formulasi farmasi memerlukan standar mutu, evaluasi keamanan biologi, serta uji in vivo dan in vitro yang lebih komprehensif. Secara keseluruhan pati bengkuang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai biopolimer alternatif dalam pengembangan sistem penghantaran obat.

REFERENSI

- Agaba, R., Tukamuhabwa, P., Rubaihayo, P., Tumwegamire, S., Ssenyonjo, A., Mwangi, R. O. M., Ndirigwe, J., & Grüneberg, W. J. (2016). Genetic variability for yield and nutritional quality in yam bean (*Pachyrhizus sp.*). *HortScience*, 51(9), 1079–1086. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10686-16>
- Akhila, P. P., & Sunooj, K. V. (2022). *The Effect of Heat-Moisture Treatment (HMT) on the Structural, Functional Properties and Digestibility of Citric Acid-Modified Plectranthus rotundifolius (Hausa Potato) Starch*. 17. <https://doi.org/10.3390/iecbm2022-13392>
- Alimi, B. A., & Workneh, T. S. (2018). Structural and physicochemical properties of heat moisture treated and citric acid modified acha and iburu starches. *Food Hydrocolloids*, 81, 449–455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.027>
- Asrofi, M., D. D., A. H., & F. R. (2019). T. T. and M. A. P. of P. A. (PVA) / B. (*Pachyrhizus erosus*) S. B. Films. M. S. R. India. (2019). citation. *Material Science Research India*, (Vol 16, Number 1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13005/msri/160110>
- Buckman, E. S., Oduro, I., Plahar, W. A., & Tortoe, C. (2018). Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) flour for food systems. *Food Science and Nutrition*, 6(2), 457–463. <https://doi.org/10.1002/fsn3.574>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chibuogwu, C., Amadi, B., Anyaegbunam, Z., Emesiani, B., & Ofoefule, S. (2019). Application of Starch and Starch Derivatives in Pharmaceutical Formulation. In M. Emeje (Ed.), *Chemical Properties of Starch* (6). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88273>
- Gökmen, V., Kocadağlı, T., Göncüoğlu, N., & Mogol, B. A. (2012). Model studies on the role of 5-hydroxymethyl-2-furfural in acrylamide formation from asparagine. *Food Chemistry*, 132(1), 168–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.048>
- Gong, K., Chen, L., Xia, H., Dai, H., Li, X., Sun, L., Kong, W., & Liu, K. (2019). Driving forces of disaggregation and reaggregation of

- peanut protein isolates in aqueous dispersion induced by high-pressure microfluidization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 915–921. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbio mac.2019.02.123>
- González-Vázquez, M., Calderón-Domínguez, G., Mora-Escobedo, R., Salgado-Cruz, M. P., Arreguín-Centeno, J. H., & Monterrubio-López, R. (2022). Polysaccharides of nutritional interest in jicama (*Pachyrhizus erosus*) during root development. *Food Science and Nutrition*, 10(4), 1146–1158. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2746>
- Hafizulhaq, F., Abral, H., Kasim, A., & Arief, S. (2020). Enhancing functional properties of low amylose bengkoang (*Pachyrhizus*) *erosus* starch film by ultrasonication. *Food Science and Technology Research*, 26(1), 159–166. <https://doi.org/10.3136/FSTR.26.159>
- Herrero, A. M., Carmona, P., Jiménez-Colmenero, F., & Ruiz-Capillas, C. (2014). Polysaccharide gels as oil bulking agents: Technological and structural properties. *Food Hydrocolloids*, 36, 374–381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.food hyd.2013.08.008>
- Ijarotimi, O. S., Malomo, S. A., Fagbemi, T. N., Osundahunsi, O. F., & Aluko, R. E. (2018). Structural and functional properties of *Buchholzia coriacea* seed flour and protein concentrate at different pH and protein concentrations. *Food Hydrocolloids*, 74, 275–288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.food hyd.2017.08.018>
- Jambrak, A. R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Bosiljkov, T., Čvek, D., Tripalo, B., & Gelo, J. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 91–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carb pol.2009.07.051>
- Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. In *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* (Vol. 3, Number 1, pp. 8–18). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>
- Judawisastra, H., Sitohang, R. D. R., Taufiq, D. I., & Mardiyati. (2018). The fabrication of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) starch based bioplastics. *International Journal of Technology*, 9(2), 345–352. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i2.1129>
- Kisambira, A., Muyonga, J. H., Byaruhanga, Y. B., Tukamuhabwa, P., Tumwegamire, S., & Grüneberg, W. J. (2015). Composition and Functional Properties of Yam Bean (<i>Pachyrhizus</i> spp.) Seed Flour. *Food and Nutrition Sciences*, 06(08), 736–746. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.68076>
- Maior, L. de O., de Almeida, V. S., Barretti, B. R. V., Ito, V. C., Beninca, C., Demiate, I. M., Schnitzler, E., Carvalho Filho, M. A. D. S., & Lacerda, L. G. (2021). Combination of organic acid and heat–moisture treatment: impact on the thermal, structural, pasting properties and digestibility of maize starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(1), 265–273. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09241-1>
- Nouri, L., & Mohammadi Nafchi, A. (2014). Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 254–259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbio mac.2014.02.044>
- Puri, A., Mohite, P., Ramole, A., Verma, S., Kamble, M., Ranch, K., & Singh, S. (2025). Starch Science Advancement: Isolation Techniques, Modification Strategies, and Multifaceted Applications. In *Macromol* (Vol. 5, Number 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/macromol5030040>
- Serrano-Villa, F. S., Morales-Sánchez, E., Téllez-Morales, J. A., Cuellar-Sánchez, V., Farrera-Rebollo, R. R., & Calderón-Domínguez, G. (2025). Synthesis of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) Starch Particles by Electrospraying: Effect of the Hydrolysis Degree. *Polymers*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/polym17152069>
- Shi, X. D., Huang, J. J., Han, J. Z., & Wang, S. Y. (2021). Physicochemical and Functional Properties of Starches from *Pachyrhizus erosus* with Low Digestibility. *EFood*, 2(3),

154–161.

<https://doi.org/10.2991/efood.k.210626.001>

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)

Singla, D., Singh, A., Dhull, S. B., Kumar, P., Malik, T., & Kumar, P. (2020). Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1283–1290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2020.07.093>

Sui, X., Bi, S., Qi, B., Wang, Z., Zhang, M., Li, Y., & Jiang, L. (2017). Impact of ultrasonic treatment on an emulsion system stabilized with soybean protein isolate and lecithin: Its emulsifying property and emulsion stability. *Food Hydrocolloids*, 63, 727–734. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.food-hyd.2016.10.024>

Toor, H. A., Chen, C., & Zhu, F. (2025). Relationship between physicochemical properties and molecular structure of barley starch with different size distributions. *Food Chemistry*, 493, 145796. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.food-chem.2025.145796>

Xie, F., Halley, P. J., & Avérous, L. (2012). Rheology to understand and optimize processibility, structures and properties of starch polymeric materials. *Progress in Polymer Science*, 37(4), 595–623. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prog-polymsci.2011.07.002>

Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456–480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carb-pol.2014.10.063>