

POTENSI PATI SAGU (*Metroxylon spp.*) SEBAGAI GELLING AGENT DALAM SEDIAAN FARMASI

Karlah Lifie Riani Mansauda^{1)*}, Olvie Syenni Datu²⁾

¹⁾Program Studi Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi

²⁾ Program Studi Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi

*lifiekarlah@unsrat.ac.id

ABSTRACT

Sago starch, derived from the Metroxylon spp., has played a crucial role as a food ingredient. However, the potential of sago starch as a gelling agent in the pharmaceutical field has sparked interest among researchers to explore broader applications. The aim of this literature review is to analyze the potential of sago starch as a gelling agent based on selected journals that study its characteristics, modifications, and potential applications. A literature review method was employed, gathering relevant scientific articles published in recent years. The findings of the literature review indicate that various modification methods of sago starch, such as acid hydrolysis, heat treatment, succinylation, and other modifications, have enhanced its gelling ability by improving gel strength, thermal stability, and viscosity. Moreover, the physicochemical properties of modified sago starch also influence the properties of the resulting gelling agent. In conclusion, sago starch shows promising potential as a gelling agent in the pharmaceutical field. However, further research is needed to understand the mechanism of sago starch gel formation and optimize its use.

Keywords: *Metroxylon sp, Sago starch, Modification, Gelling agent*

ABSTRAK

Pati sagu, yang berasal dari pohon sagu *Metroxylon sp.*, telah menemukan peran penting sebagai bahan pangan. Namun, potensi pati sagu sebagai gelling agent dalam bidang farmasi telah menarik minat peneliti untuk mengembangkan aplikasi yang lebih luas. Tujuan tinjauan literatur ini adalah untuk menganalisis potensi pati sagu sebagai gelling agent berdasarkan jurnal-jurnal terpilih yang mempelajari karakteristik, modifikasi, dan aplikasi potensialnya. Metode literatur review digunakan dengan mengumpulkan artikel-artikel ilmiah terkait yang diterbitkan dalam beberapa tahun terakhir. Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa berbagai metode modifikasi pati sagu, seperti hidrolisis asam, perlakuan panas, succinylation, dan modifikasi lainnya, telah meningkatkan kemampuan pati sagu sebagai pengental dengan meningkatkan kekuatan gel, stabilitas termal, dan viskositas. Selain itu, sifat fisikokimia pati sagu yang dimodifikasi juga mempengaruhi sifat gelling agent yang dihasilkan. Kesimpulannya, pati sagu memiliki potensi menarik sebagai *gelling agent* dalam bidang farmasi. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami mekanisme pembentukan gel pati sagu dan mengoptimalkan penggunaannya

Kata kunci: *Metroxylon sp, Pati sagu, Modifikasi, Gelling agent*

PENDAHULUAN

Pati adalah polisakarida homoglukan yang disusun oleh monomer α -D-glukopiranosil. Molekul pati tersusun atas dua komponen, yaitu amilosa merupakan polisakarida rantai lurus, digabungkan dengan ikatan α -1,4 dan amilopektin merupakan polisakarida rantai bercabang, digabungkan dengan ikatan α -1,4 pada rantai lurus dan percabangannya ikatan α -1,6. Pati terkandung dalam beberapa tanaman dan memiliki bentuk dan struktur yang berbeda-beda tergantung asalnya (Syamsir dkk. 2012)

Salah satu jenis pati adalah pati sagu. Secara garis besar, potensi pasokan pati sagu sangat besar dan jumlah hasilnya (dalam ton per hektar per tahun) dapat sebanding dengan hasil kentang (Sumardiono dkk. 2020). Akan tetapi meskipun merupakan salah satu pemilik areal sagu dan daerah potensi penghasil sagu terbesar akan tetapi pemanfaatan potensi sagu masih tergolong rendah yakni maksimal 5% (Himawan, 2014)

Pemanfaatan pati di Industri lebih terbatas karena sifat alami pati seperti viskositas yang dapat berubah-ubah karena adanya penurunan pH, peningkatan suhu atau perlakuan tertentu (mekanis) dan potensi sineresis karena adanya retrogradasi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat pati tersebut adalah modifikasi (Santoso dkk. 2015). Modifikasi pada sagu dengan hidrolisis, ikatan silang, pemanasan asetilasi menunjukkan perbaikan pada sifat fisik dan stabilitas pati serta meningkatkan kadar amilopektin. Konsentrasi amilosa dan amilopektin dalam pati akan mempengaruhi kemampuan pati untuk membentuk gel dan selanjutnya akan berpengaruh pada peningkatan viskositas. (Hartiningih, Pranoto, dan Supriyanto 2020; Polnaya, Huwae, dan Tetelepta 2018; Saputro, Kurniawan, dan Retnowati. Diah Susetyo 2012; Wattimena, Ega, dan Polnaya 2016).

Perbaikan sifat merugikan dari pati sagu memungkinkan peluang untuk pemanfaatannya dalam formulasi bentuk sediaan farmasi seperti sebagai alternatif pengganti gelling agent yang terbuat dari pati sagu. Gelling agent merupakan salah satu eksipien sediaan farmasi yang biasanya mengandung polimer yang mempunyai berat molekul tinggi dan berfungsi untuk memberikan sifat kental pada gel. Gelling agent dibagi menjadi sintesis, semi sintesis, dan alami. Contoh gelling agent adalah turunan selulosa, karbomer, dan polimer alami seperti gum. Eksipien ini memiliki peran penting karena dapat mempengaruhi sifat fisik gel berupa sifat fisik seperti organoleptis, homogenitas, pH, daya sebar, daya lekat, dan viskositas yang dihasilkan (Afianti dan Murruckmihadi, 2015).

Dengan memperhatikan penelitian-penelitian yang ada, tujuan artikel ini adalah membahas penelitian-penelitian yang telah dilakukan terkait karakteristik pati sagu, modifikasi pati sagu dan perubahan-perubahan yang terjadi serta potensinya sebagai alternatif eksipien untuk pembuatan sediaan farmasi.

METODE PENELITIAN

Artikel ini ditulis dengan merujuk pada penelitian-penelitian nasional maupun internasional yang telah dipublikasikan. Fokus pencarian literatur yakni penelitian yang terbit pada tahun 2012-2022. Literatur diambil dengan memasukkan keyword pada database seperti *Google Scholar*, *Garba Rujukan Digital (GARUDA)*, *ResearchGate*, *ScienceDirect*, dan *Crossref*. Kata kunci yang dicari adalah “*Sagu Starch*”, “*Metroxylon Sagu*”, “*Pati Sagu*”, “*Karakterisasi Pati Sagu*”, “*Modification of Metroxylon*” “*Chemical Modification Sagu Starch*”, “*Physical Modification Sagu Starch*”, *Enzymatic Modification Sagu Starch* dan berbagai penelitian mengenai *gelling agent* dan karakteristiknya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggolongan modifikasi pati sagu dapat dibagi menjadi beberapa kategori yakni: modifikasi fisik, modifikasi kimia, dan modifikasi enzimatik.

1. Modifikasi Fisik

Modifikasi Fisik: Modifikasi fisik melibatkan perlakuan fisik terhadap pati sagu untuk mengubah sifat-sifatnya. Beberapa contoh modifikasi fisik termasuk pengeringan, prigelatinisasi (pemanasan), pendinginan, pemasakan maupun perlakuan fisik lainnya. Beberapa metode modifikasi fisik yang telah diperkenalkan untuk meningkatkan fungsi dari pati, antara lain Heat moisture treatment (HMT),

pengulangan freeze-thaw, pra-gelatinisasi, dan perlakuan panas dengan menggunakan microwave atau microwave heat (MHT) (Rahman 2018; Zailani dkk. 2022).

2. Modifikasi Kimia

Modifikasi kimia melibatkan penggunaan zat kimia tertentu untuk mengubah struktur kimia pati sagu. Proses modifikasi pati juga dapat dilakukan secara kimia meliputi cross-linking, asetilasi, substitusi atau kombinasi keduanya (Rahman 2018).

3. Modifikasi Enzimatik:

Modifikasi enzimatik melibatkan penggunaan enzim untuk memodifikasi struktur pati sagu dengan menghilangkan atau menambahkan gugus hidroksil pada molekulnya. Proses modifikasi secara enzimatik dapat menghasilkan pati yang diubah menjadi molekul gula sederhana atau rantai pendek (Rahman 2018)

Modifikasi Fisik Pati Sagu

Heat moisture treatment (HMT) adalah salah satu jenis modifikasi fisik yang dilakukan pada butiran pati. Cara ini melibatkan inkubasi butiran pati dengan kadar kelembaban kurang dari 35% w/w pada suhu di atas suhu titik transisi kaca (T_g), namun tetap di bawah suhu gelatinisasi. Proses ini dilakukan dalam periode waktu tertentu untuk mencapai efek yang diinginkan (Syamsir dkk. 2012). Dewi dkk. (2022) melakukan modifikasi HMT dengan tujuan untuk mempengaruhi sifat fisikokimia pati sagu, khususnya dalam meningkatkan hidrofobitasnya. Dalam penelitian tersebut, ditemukan bahwa perlakuan HMT secara signifikan meningkatkan hidrofobitas pati sagu. Terlihat bahwa setelah modifikasi ini, kelarutan pati sagu dalam air menurun, menunjukkan sifat hidrofobik yang lebih tinggi. Selain itu, terjadi perubahan dalam struktur pati sagu dengan adanya peningkatan ikatan antar molekul pati. Hasil analisis juga menunjukkan peningkatan kontak sudut air pada pati sagu yang telah mengalami HMT, mengindikasikan peningkatan hidrofobitas permukaan pati.

HMT juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode perlakuan pemanasan menggunakan *autoclave* (AHT). Modifikasi AHT pada pati sagu memberikan pengaruh pada kekuatan gel (gel strength) dan viskositas. Hasil modifikasi AHT menunjukkan peningkatan kekuatan gel pati sagu, yang menandakan bahwa pati sagu memiliki kemampuan membentuk gel yang lebih kuat setelah mengalami perlakuan AHT juga dapat meningkatkan stabilitas termal pati sagu (Marta dkk. 2022)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zailani dkk (2022), modifikasi menggunakan metode *Microwave Heat* pada pati sagu menghasilkan hasil yang menarik. Hasil modifikasi tersebut menunjukkan peningkatan signifikan dalam kekuatan gel pati sagu, menunjukkan bahwa pati sagu memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membentuk gel yang kuat. Selain itu, kapasitas pati sagu dalam menyerap dan mempertahankan kelembapan juga mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pati sagu dapat lebih efektif dalam menjaga kelembapan produk yang mengandung pati sagu. Selain itu, modifikasi ini juga meningkatkan resistensi pati sagu terhadap aktivitas enzim pencernaan, yang berarti dapat membantu mengontrol kadar gula darah setelah mengonsumsi pati sagu. Temuan ini memiliki potensi besar untuk memberikan manfaat dalam pengaturan glikemik, terutama bagi individu yang menderita diabetes atau memiliki kondisi kesehatan yang memerlukan kontrol gula darah yang baik.

Modifikasi Kimia Pati Sagu

Pati dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan katalis HCl, asam laktat, H_2SO_4 , dan asam lainnya. Dalam jurnal yang ditulis oleh Polnaya, Huwae, dan Tetelepta (2018), dilakukan modifikasi pati sagu menggunakan metode hidrolisis asam. Hasil modifikasi menunjukkan penurunan berat molekul pati sagu dan terjadi peningkatan indeks dispersi, yang mengindikasikan peningkatan kecenderungan pati sagu untuk membentuk dispersi dalam larutan. Selain itu, daya swelling pati sagu juga meningkat setelah modifikasi, menunjukkan peningkatan kemampuan pati sagu untuk membentuk gel. Modifikasi ini juga membuat pati sagu lebih mudah larut dalam air sehingga dapat memudahkan pati sagu dalam membentuk gel atau pengental dalam sistem makanan atau produk lainnya. Namun, teknik ini memiliki beberapa kelemahan, antara lain hasil yang relatif rendah dan terbentuknya produk samping yang tidak diinginkan (Azmi, Malek, dan Puad 2017).

Modifikasi dengan kombinasi hidrolisis asam laktat dan oksidasi H_2O_2 menghasilkan kekuatan pembengkakan dan kelarutan pati meningkat setelah dimodifikasi, namun perlu dicatat bahwa penggunaan asam laktat dalam modifikasi pati akan mengurangi kandungan amilosa serta viskositas pasta. Selain itu, modifikasi pati menggunakan asam diikuti oleh oksidasi menggunakan hidrogen peroksida mengakibatkan depolimerisasi molekul amilosa dan amilopektin. Akibatnya, terbentuk gugus karbonil dan gugus karboksil yang lebih banyak pada pati dengan kandungan amilosa rendah (Sumardiono dkk. 2020).

Penelitian lainnya menunjukkan modifikasi pati sagu dengan graft kopolimerisasi. Graft kopolimerisasi adalah suatu proses di mana monomer-monomer terikat pada struktur pati melalui ikatan kovalen yang kuat. Dalam penelitian ini, diamati bahwa grefting mampu mencegah terjadinya proses retrogradasi pada pati sagu yang telah dimodifikasi, memiliki sifat fisikokimia yang ditingkatkan, seperti kemampuan pembengkakan dan penyerapan air yang lebih baik. Proses ini memungkinkan pembuatan polimer yang disesuaikan dengan kebutuhan, dengan sifat-sifat yang diinginkan berdasarkan pilihan monomer (Lele, Kumari, dan Niju 2018). Dalam konteks modifikasi pati sagu, graft kopolimerisasi dapat menghasilkan polimer yang lebih hidrofobik atau hidrofilik tergantung pada jenis monomer yang digunakan dalam reaksi grafting. Hal dapat mempengaruhi sifat pembentukan gel pati sagu seperti sifat hidrofobik atau hidrofiliknya.

Modifikasi Enzimatik Pati Sagu

Beberapa penelitian yang menerangkan tentang pelakuan menggunakan enzim dilakukan untuk menguraikan dinding sel dan merupakan salah satu teknik untuk meningkatkan proses ekstraksi pati. Pretreatment enzimatik berbagai sejumlah kompleks enzim selulase pati sagu meningkatkan daya cerna dan viskositas pati sambil mengurangi retrogradasi pati (Pinyo dkk. 2016). Hasil ekstrak pati dengan hidrolisis enzimatik memiliki hasil yang tinggi, namun laju reaksi hidrolisis enzim masih rendah dibandingkan dengan hidrolisis asam (Azmi, Malek, dan Puad 2017). Meskipun pretreatment enzimatik, baik secara individual maupun kombinasi, meningkatkan hasil ekstraksi pati sagu, metode ini tidak disarankan karena memakan waktu lama dan menghasilkan produktivitas ekstraksi yang rendah (Pinyo dkk. 2017)

Modifikasi Kombinasi

Dalam beberapa tahun terakhir modifikasi pati sagu mulai berkembang salah satunya dengan menggunakan kombinasi beberapa metode-metode modifikasi. Modifikasi pati sagu yang dilakukan oleh Dewi dkk (2022) dilakukan dengan metode kombinasi fisik dan kimia. Dalam hal ini HMT dan metode *octenyl succinylation anhydrate* (OSA). Perlakuan HMT seperti yang dijelaskan sebelumnya dapat meningkatkan hidrofobisitas pati sagu yang berarti dapat meningkatkan kemampuannya dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap kelembaban atau air. Sementara tujuan modifikasi dengan OSA sebagai agen esterifikasi untuk modifikasi tambahan dalam meningkatkan hidrofobisitas pati sagu. OSA melibatkan pengenalan gugus asil suksinat ke pati sagu, yang juga berkontribusi pada sifat hidrofobik pati. Dengan demikian, kombinasi modifikasi HMT dan *octenyl succinylation anhydrate* dalam penelitian dapat meningkatkan hidrofobisitas pati sagu.

Hasil modifikasi menggunakan hidrolisis asam laktat dan pengeringan rotary UV dalam penelitian ini menunjukkan perubahan pada sifat fisikokimia dan rheologi pati sagu. Setelah modifikasi, pati sagu mengalami peningkatan daya serap air dan viskositas, serta perubahan dalam ukuran butir pati. Modifikasi juga mempengaruhi stabilitas termal pati sagu. Hidrolisis asam laktat merupakan metode modifikasi yang melibatkan perlakuan pati sagu dengan larutan asam laktat. Hidrolisis asam ini dapat menghasilkan perubahan pada struktur pati sagu dan mempengaruhi sifat fisikokimia pati, seperti ukuran butir, viskositas, dan daya serap air. Hidrolisis asam laktat juga dapat mengurangi molekul pati yang panjang menjadi fragmen yang lebih pendek, sehingga mempengaruhi viskositas dan kestabilan pati. Pengeringan rotary UV digunakan setelah hidrolisis asam laktat. Pengeringan rotary UV bertujuan untuk menghilangkan kelembaban pada pati sagu yang telah mengalami hidrolisis, sehingga menghasilkan pati sagu yang lebih kering dengan sifat fisik yang diinginkan (Sumardiono, Rakhmawati, dan Pudjihastuti 2018).

Metode modifikasi lainnya meliputi *autoclave-heating treatment* (AHT), *osmotic-pressure treatment* (OPT), *octenyl-succinic anhydride* (OSA), dan *citric acid cross-linking* (CA). Autoclave-heating treatment (AHT) adalah perlakuan fisik di mana pati sagu dipanaskan dalam kondisi tekanan tinggi menggunakan autoclave. Perlakuan ini dapat menyebabkan perubahan pada struktur pati sagu dan menghasilkan peningkatan kristalinitas. Selain itu, AHT juga dapat mengubah sifat fungsional pati sagu seperti daya serap air dan viskositas. OPT melibatkan perendaman pati sagu dalam larutan osmotik dengan konsentrasi tertentu. Perlakuan ini dapat meningkatkan daya serap air dan viskositas pati sagu. Modifikasi selanjutnya melibatkan reaksi kimia antara pati sagu dan octenyl-succinic anhydride (OSA). Modifikasi ini menghasilkan substitusi gugus hidroksil pada pati sagu dengan gugus octenyl-succinic anhydride, yang dapat meningkatkan sifat hidrofobik dan emulsifikasi pati sagu. Citric acid cross-linking (CA) melibatkan penggunaan asam sitrat sebagai agen pengikat silang untuk pati sagu. Proses ini menghasilkan ikatan silang antara rantai pati sagu, yang dapat meningkatkan stabilitas termal dan daya serap air pati sagu. Hasil modifikasi dengan AHT, OPT, OSA, dan CA dalam penelitian ini menunjukkan perubahan dalam kristalinitas pati sagu. AHT dan OPT meningkatkan kristalinitas, sementara OSA dan CA dapat mengurangi kristalinitas. Selain itu, modifikasi ini juga mempengaruhi sifat fungsional pati sagu seperti daya serap air, viskositas, dan sifat hidrofobik (Marta dkk. 2022).

KESIMPULAN

Modifikasi fisik, kimia dan enzimatik pati sagu dapat mempengaruhi sifat fisikokimia pati sagu, baik dalam hal viskositas, kekuatan gel, kekentalan, atau stabilitasnya. Modifikasi pati sagu ini memberikan fleksibilitas dalam mengubah sifat-sifat pati sagu sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang diinginkan. Dalam konteks umum, modifikasi pati sagu dapat mempengaruhi sifat pengentalnya. Dengan pemilihan metode modifikasi yang tepat, pati sagu dapat digunakan dalam berbagai industri, seperti makanan, farmasi, kosmetik, dan lainnya. Perubahan sifat fisikokimia pati sagu dapat bervariasi tergantung pada jenis perlakuan fisik, kimia, enzim yang digunakan, kondisi perlakuan, dan karakteristik awal pati sagu yang digunakan. Oleh karena itu, penting untuk memahami dengan lebih mendalam bagaimana hasil modifikasi fisik, kimia dan enzimatik pada pati sagu dapat berpengaruh pada pembentukan gel dalam hal ini sebagai agen pembentuk gel (*gelling agent*) agar menemukan metode yang optimal demi menghasilkan sifat-sifat gel yang sesuai. Akan tetapi, modifikasi pati sagu ini membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas untuk dikembangkan dalam industri farmasi sebagai *gelling agent*.

Daftar Pustaka

- Azmi, A S, M I A Malek, dan N I M Puad. 2017. "A review on acid and enzymatic hydrolyses of sago starch." *International Food Research Journal* 24: 265–73.
- Dewi, Angela Myrra Puspita, Umar Santoso, Yudi Pranoto, dan Djagal W. Marseno. 2022. "Dual Modification of Sago Starch via Heat Moisture Treatment and Octenyl Succinylation to Improve Starch Hydrophobicity." *Polymers* 14(6).
- Hartiningsih, Subekti, Yudi Pranoto, dan Supriyanto. 2020. "Structural and rheological properties of modified sago starch (Metroxylon sago) using treatment of steam explosion followed by acid-hydrolyzed as an alternative to produce maltodextrin." *International Journal of Food Properties* 23(1): 1231–42.
- Lele, Vidyagauri V., Savita Kumari, dan Harshada Niju. 2018. "Syntheses, Characterization and Applications of Graft Copolymers of Sago Starch – A Review." *Starch/Staerke* 70(7–8).
- Marta, Herlina dkk. 2022. "Study of Changes in Crystallinity and Functional Properties of Modified Sago Starch (Metroxylon sp.) Using Physical and Chemical Treatment." *Polymers* 14(22).
- Pinyo, Jukkrapong dkk. 2016. "Effect of enzymatic pretreatment on the extraction yield and physicochemical properties of sago starch." *Starch/Staerke* 68(1–2): 47–56.
- Pinyo dkk. 2017. "Improvement of sago starch extraction process using various pretreatment techniques and their pretreatment combination." *Starch/Staerke* 69(9–10).
- Polnaya, Febby Jeanry, Alfredo Andelson Huwae, dan Gilian Tetelepta. 2018. "Karakteristik Sifat Fisiko-Kimia dan Fungsional Pati Sagu Ihur (Metroxylon sylvestre) Dimodifikasi dengan Hidrolisis Asam." *Agritech* 38(1): 7–15.
- Rahman, Syamsul. 2018. *Teknologi Pengolahan Tepung dan Pati Biji-Bijian Berbasis Tanaman Kayu*. <https://www.researchgate.net/publication/357936442>.
- Santoso, Budi, Filli Pratama, Basuni Hamzah, dan Rindit Pambayun. 2015. "Karakteristik Fisik Dan Kimia Pati Ganyong dan Gadung Termodifikasi Metode Ikatan Silang." *AGRITECH* 35(3).
- Saputro, Mochamad Adi, Arizal Kurniawan, dan Retnowati. Diah Susetyo. 2012. "Modifikasi Pati Talas dengan Asetilasi Menggunakan Asam Asetat." *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 1(1): 258–63. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtki>.
- Sumardiono, Siswo dkk. 2020. "The modification of sago (Metroxylon Sagu) starch by combination of lactic acid hydrolysis and H₂O₂ oxidation methods to increase baking expansion." Dalam *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc.
- Sumardiono, Siswo, Rizki B Rakhmawati, dan Isti Pudjihastuti. 2018. "Physicochemical and Rheological Properties of Sago (Metroxylon sago) Starch Modified with Lactic Acid Hydrolysis and UV Rotary Drying." *ASEAN Journal of Chemical Engineering* 18(2): 41–53.
- Syamsir, Elvira dkk. 2012. "PENGARUH PROSES HEAT-MOISTURE TREATMENT (HMT) TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA PATI [Effect of Heat-Moisture Treatment (HMT) Process on Physicochemical Characteristics of Starch]." *J. Teknol. dan Industri Pangan* 23(1): 100–106. www.isbu.ac.uk.
- Wattimena, Devidson, La Ega, dan Febby Jeanry Polnaya. 2016. "Karakteristik Edible Film Pati Sagu Alami dan Pati Sagu Fosfat dengan Penambahan Gliserol." *Jurnal Agritech* 36(3): 247–52.
- Zailani, Mohd Alhafizh dkk. 2022. "Functional and digestibility properties of sago (Metroxylon sago) starch modified by microwave heat treatment." *Food Hydrocolloids* 122.
-