

Modification of Corn Starch (*Zea mays*, [L]) and Xanthan Gum with Citric Acid Crosslinking Agent

Suprpto¹ , Septian Rizki Pratama², Muhammad Abdillah³

¹ Department of Pharmacy, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

² Department of Pharmacy, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

³ Department of Pharmacy, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

 suprpto@ums.ac.id

Abstract

Corn starch is an excipient that has been widely used in the manufacture of tablet preparations as a filler, binder and disintegrant. Starch has two components, namely amylose and amylopectin. Amylose and amylopectin contribute to the physical and chemical properties of starch which affect the degree of swelling of starch granules. Natural starch contains a lot of amyloses so that it is dry, lacks adhesion, and tends to absorb a lot of water. The starch was modified to improve these properties. The modification was carried out with xanthan gum (XG) with citric acid crosslinking agent. The purpose of this study was to compare the characterization of corn starch (FTIR test (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), swelling, flow velocity and angle of repose) which had been modified by crosslinking with the addition of variations in XG concentration to unmodified starch. This study used XG with various concentrations. 5%, 10%, and 20% with citric acid, and formula 0 as a negative control (XG 5% without citric acid). The modification results show the formation of crosslinks in formulas 1, 2, and 3 marked by the formation of a C=O(ester) group with the FTIR test at a wavelength of 1713.94 cm⁻¹, 1714.38 cm⁻¹, and 1714.63 cm⁻¹. The results of the analysis show that the swelling power value is getting bigger, the flow velocity is increasing, namely 6.52 g/second, 9.90 g/second and 11.62 g/second and the higher angle of repose is 23.934°, 24.564°, and 26.543°.

Keywords: Keyword 1; Keyword 2; keyword 3

Modifikasi Pati Jagung (*Zea mays*, [L]) dan Xanthan Gum dengan *Crosslinking Agent* Asam Sitrat

Abstrak

Pati jagung adalah eksipien telah banyak digunakan dalam pembuatan sediaan tablet sebagai *filler*, *binder* dan *disintegrant*. Pati memiliki dua komponen yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa dan amilopektin berperan terhadap sifat fisik dan kimia pada pati yang berpengaruh pada tingkat pembengkakan granula pati. Pati alami mengandung banyak amilosa sehingga bersifat kering, kurangnya daya lekat, dan cenderung menyerap banyak air. Modifikasi pati dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tersebut. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan xanthan gum (XG) dengan *crosslinking agent* asam sitrat. Tujuan penelitian adalah untuk membandingkan karakterisasi pati jagung (uji FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), swelling, kecepatan alir dan sudut diam) yang telah dimodifikasi secara *crosslinking* pada penambahan variasi konsentrasi XG terhadap pati yang tidak dimodifikasi. Penelitian ini menggunakan XG dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 20% dengan asam sitrat, dan formula 0 sebagai kontrol negatif (XG 5% tanpa asam sitrat). Hasil modifikasi menunjukkan adanya pembentukan *crosslink* pada formula 1, 2, dan 3 ditandai dengan terbentuknya gugus C=O (ester)

dengan uji FTIR pada panjang gelombang 1713,94 cm⁻¹, 1714,38 cm⁻¹, dan 1714,63

cm^{-1} . Hasil analisis menunjukkan nilai swelling power yang semakin besar, kecepatan alir yang semakin meningkat yaitu 6,52 g/detik, 9,90 g/detik dan 11,62 g/detik dan sudut diam yang semakin tinggi 23,93°, 24,56° dan 26,54°.

Kata kunci: Pati jagung; *Crosslinking*; Xanthan gum

1. Pendahuluan

Eksipien adalah bahan selain zat aktif yang ditambahkan dalam formulasi sediaan farmasi. Eksipien digunakan untuk memperbaiki sifat zat aktif sehingga mempermudah proses produksi sediaan farmasi. Pati jagung adalah eksipien banyak digunakan untuk pembuatan sediaan tablet. Pati merupakan komponen utama dalam biji jagung, sekitar 72-73% dari total berat [14]. Pati terdiri dari dua komponen yaitu amilosa dan amilopektin [10], kedua molekul tersebut berperan atas sifat fisik dan kimia pada pati yang mempengaruhi kelarutan dan pembengkakan granula pati. Amilum yang sering digunakan dalam industri farmasi dapat dibagi menjadi 2 yaitu amilum alami dan amilum modifikasi. Pati dalam bentuk alami (*native starch*) adalah pati yang dihasilkan dari sumber umbi-umbian dan belum mengalami perubahan sifat fisik dan kimia atau diolah secara kimia-fisik. Pati alami banyak digunakan di industri farmasi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan pengikat (*binder*) dalam pembuatan tablet, pil dan kapsul. Pati alami mempunyai dua keterbatasan besar dalam membentuk tablet yang baik, yaitu tidak mempunyai sifat fluiditas (daya alir) dan kompresibilitas [3]. Amilum alami dilakukan modifikasi kimia menggunakan XG dan asam sitrat sebagai *crosslinking* untuk memperbaiki kekurangan tersebut.

Xanthan gum merupakan bahan yang diperlukan untuk modifikasi pati jagung. XG mempunyai karakteristik yang unik sehingga termasuk dalam suatu eksipien multifungsi. XG sangat larut air, stabil pada kondisi asam dan basa, serta stabil pada berbagai suhu. XG diketahui tahan pada degradasi enzimatik dan menunjukkan adanya interaksi sinergis dengan hidrokoloid [1]. Asam sitrat sebagai *crosslinking agent* karena gugus karboksilat pada asam sitrat dapat membentuk ikatan yang kuat dari gugus hidroksil pada pati sehingga mampu memperbaiki sifat termal, mengatur stabilitas air dan mengurangi retrogradasi. Asam sitrat sebagai *crosslinking agent* dapat menghasilkan kopolimer yang memiliki struktur dan sifat yang lebih baik, memiliki ketahanan yang baik terhadap air, dan dapat menaikkan sifat mekanik [12].

Pati dimodifikasi *crosslinking* bertujuan untuk menambahkan ikatan intramolekul dan antar molekul pati. Zat *crosslink* dimasukkan ke dalam jembatan antar molekul antara lapisan biopolimer selama reaksi *crosslink*, yang dapat mengubah sifat struktural dan kimia permukaan kerangka polimer. *Crosslinking* telah terbukti menjadi pendekatan yang layak untuk meningkatkan afinitas polimer pati untuk adsorbat [12]. Metode *crosslinking* adalah modifikasi pati secara kimia, modifikasi secara kimia dapat memperbaiki sifat hidrofobik pati, stabilitas pati, kekentalan pati, ketahanan pati terhadap suhu dan gaya gesek tinggi [7].

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pembentukan kopolimer pati jagung dan XG dengan *crosslinking agent* asam sitrat dan dapat melihat karakteristik kimia hasil *crosslink* dengan uji FTIR, uji *swelling*, uji kecepatan alir dan uji sudut diam.

2. Metode

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ayakan no.80, timbangan analitik OHAUS Pioneer dengan sensitivitas 0,0001 g, *waterbath*, *oven*, sentrifus PLC series, loyang. Bahan-bahan yang digunakan adalah pati jagung(farmasetis), xanthan gum (teknis) yang diambil dari laboratorium farmasi UMS, asam sitrat (teknis) yang diambil dari laboratorium farmasi UMS dan aquades (teknis) yang diambil dari laboratorium farmasi UMS.

2.2 Jalannya Penelitian

2.2.1 Pemeriksaan Organoleptis Pati Jagung

Pati jagung dilakukan pemeriksaan organoleptis secara visual meliputi: bentuk, warna, rasa, dan bau.

2.2.2 Pencucian Pati Jagung

Pati jagung 1 kg ditimbang dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 2 liter dalam baskom diaduk sampai tidak ada endapan, didiamkan selama 30 menit sampai terdapat endapan, bagian air pada bagian atas dibuang (dekantir) dan bagian endapan dilakukan pencucian kembali sebanyak 2 kali. Endapan dikeringkan pada suhu 40°C selama 48 jam. Pati jagung yang dihasilkan setelah pengeringan berupa serbuk kemudian dihaluskan dan disaring dengan ayakan no. 40 mesh.

2.2.3 Modifikasi Pati Jagung

Formula modifikasi pati jagung pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Formulasi Modifikasi Pati Jagung.

Bahan	Formula kontrol	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Pati jagung	50	50	50	50
XG	2,5	2,5	5	10
Asam sitrat	0	50	50	50
Aquades	250mL	250mL	250mL	250mL

Pati jagung sebanyak 50 gram dimasukkan dalam gelas bekkor 1000 ml ditambahkan aquades 250 mL lalu dipanaskan pada suhu 90°C dan diaduk selama 20 menit. Hasil pengadukan ditambahkan 50 gram asam sitrat dan XG sebanyak 2,5g, 5g,10 g sesuai formula (Tabel 1) dengan temperatur 65°C, selanjutnya dipanaskan pada suhu 90°C selama 20 menit. Hasil material kopolimer diletakkan pada loyang dan dipanaskan pada suhu 40°C sampai kering.

2.3 Karakterisasi Kopolimer Pati Jagung

2.3.1 Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Kopolimer pati diambil dari masing masing sampel berupa serbuk secukupnya. Sampel dibaca dengan menggunakan spektrofotometri FTIR dengan rentang 450-4000 cm^{-1} .

2.3.2 Uji *Swelling*

Amilum jagung ditimbang sebanyak 1 gram lalu dimasukkan tabung sentrifus dengan aquades. Tabung tersebut dipanaskan pada suhu 45°C, 60°C, dan 75°C pada *waterbath*. Tabung didinginkan sampai suhu kamar dan disentrifugasi selama 20 menit.

2.3.3 Uji Kecepatan Alir

Sampel serbuk kopolimer sebanyak 100 gram diuji sifat alirnya menggunakan corong uji. Sampel dimasukkan corong melalui dinding corong secara melingkar. Corong dibuka hingga semua granul mengalir dan dicatat waktu alirnya menggunakan *stopwatch*.

2.3.4 Uji Sudut Diam

Serbuk sampel 100 g dimasukkan corong uji waktu alir. Penutup corong dibuka sehingga serbuk keluar semua dan ditampung pada bidang datar. Sudut diam dihitung dengan mengukur diameter dan tinggi unggun granul yang keluar dari mulut corong.

3. Hasil dan Pembahasan

Pati jagung setelah dicuci dilakukan pemeriksaan organoleptis secara visual. Hasilnya pati jagung berwarna putih, tidak berbau, dan tidak berasa.

3.1. Modifikasi Pati Jagung

Modifikasi pati jagung dengan XG secara *crosslink* dengan asam sitrat bertujuan untuk membentuk ikatan ester pada pati jagung, ikatan terjadi pada gugus karboksil dan gugus hidroksil. Ikatan ester menghasilkan sifat ketahanan dan sifat mekanik dari kopolimer meningkat. Gambar 1 merupakan hasil modifikasi pati jagung.



Gambar 1. Hasil Kopolimer Modifikasi: (a). Pati Jagung-XG 5%, (b). Pati jagung-Asam Sitrat-XG 5%, (c) Pati jagung-Asam Sitrat-XG 10%, dan (d) Pati jagung-asam Sitrat-XG 20%.

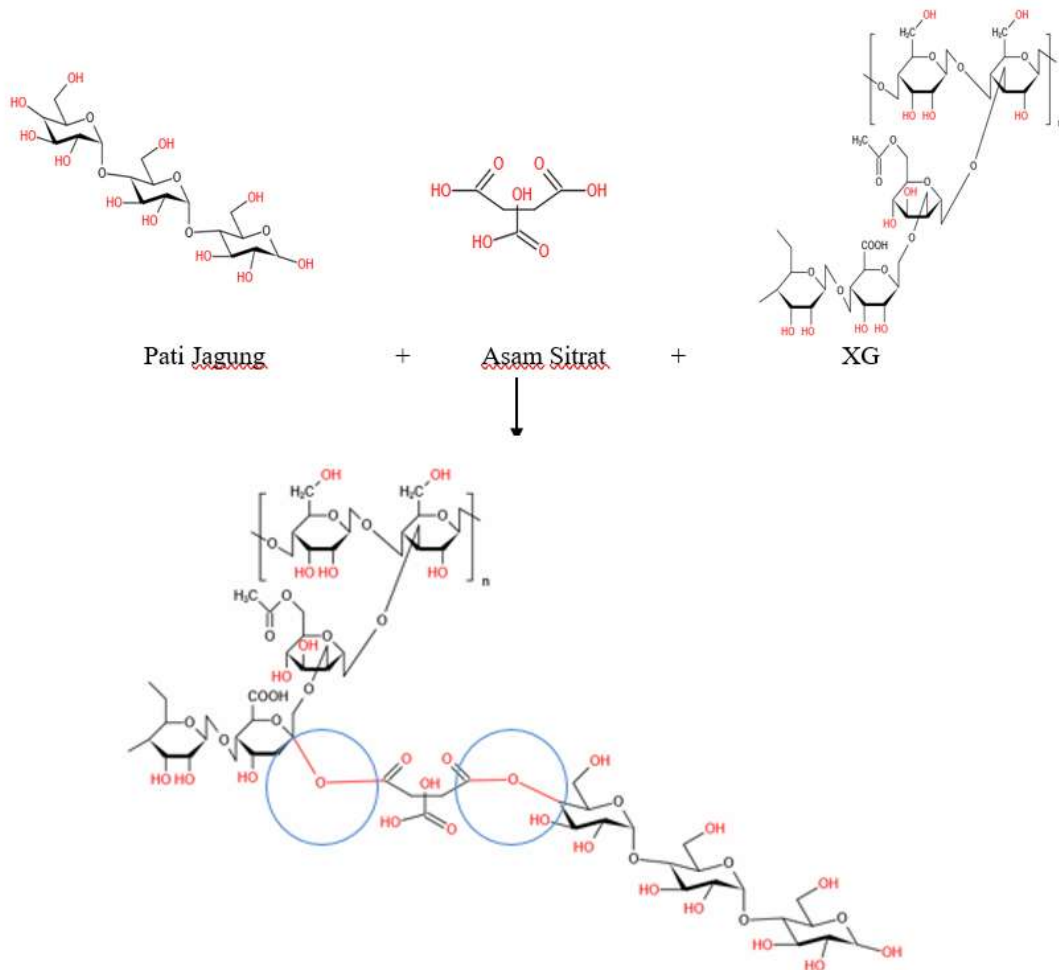
Material kopolimer hasil modifikasi diperoleh semakin keras dan kuat seiring bertambahnya konsentrasi XG. Formula kontrol diperoleh hasil kopolimer yang rapuh jika dibandingkan dengan formula 1, 2, dan 3. Hasil kopolimer modifikasi formula 3 diperoleh yang paling kuat dan keras. Hal ini dapat dijelaskan bahwa penambahan XG dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan kopolimer, XG merupakan polimer yang mudah larut dan mengembang (*swelling*) dalam air dan membentuk cairan yang kental (*viscus*).

3.2. Karakterisasi Pati Jagung

Pati jagung modifikasi berupa kopolimer diuji secara kimia dengan uji FTIR dan secara fisika dengan *swelling*, sifat alir, sudut diam.

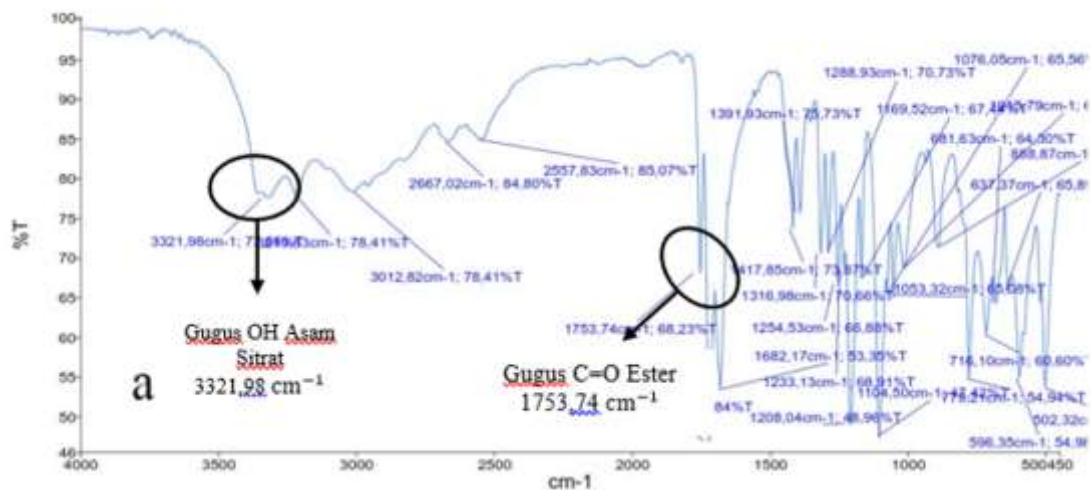
3.2.1 Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

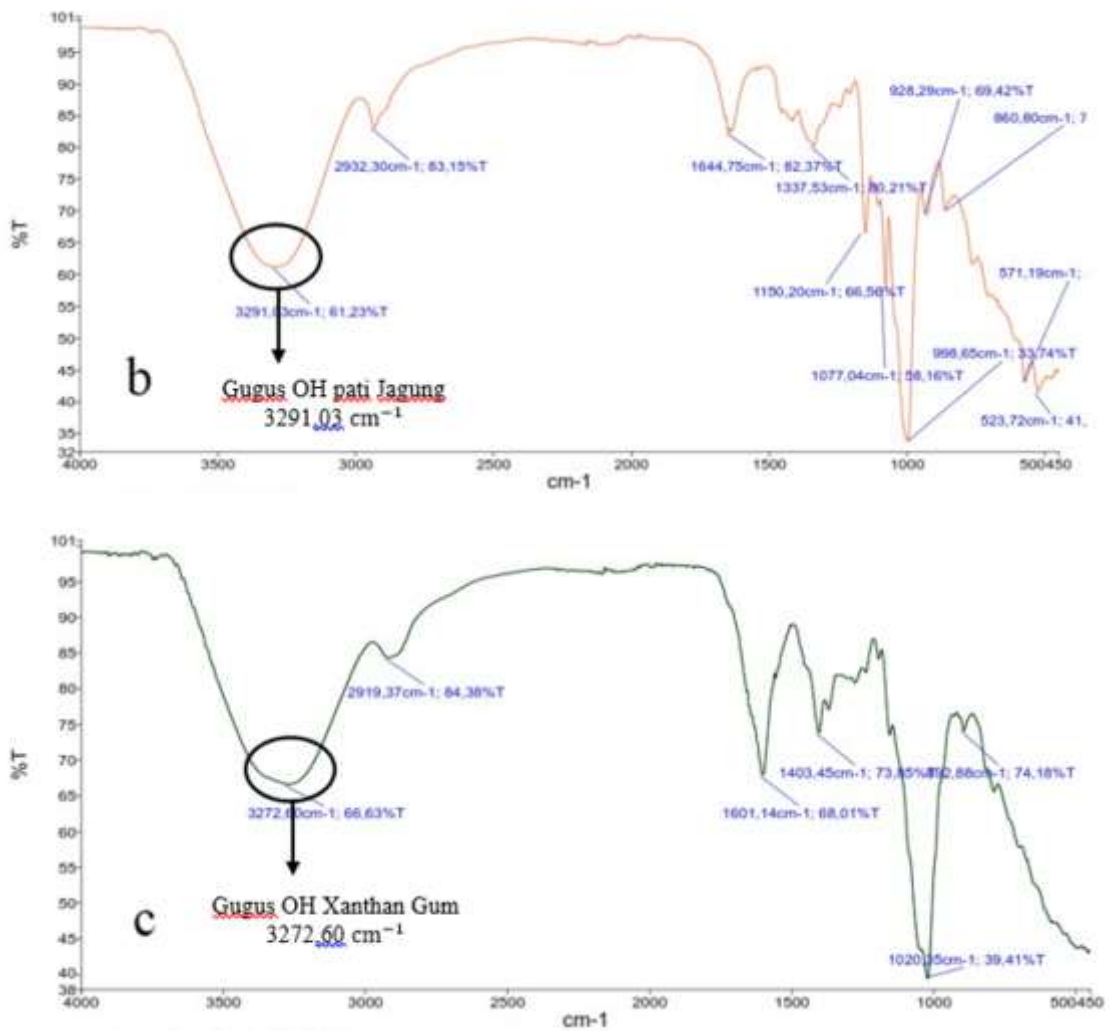
Kopolimer hasil modifikasi dikarakterisasi menggunakan uji FTIR. Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk melihat perubahan gugus fungsional pada gugus C=O. Modifikasi pati jagung dihasilkan gugus ester dari reaksi esterifikasi. Gambar 2 adalah skema dari reaksi esterifikasi pati jagung, asam sitrat, dan XG menghasilkan kompleks hasil crosslinked kopolimer.



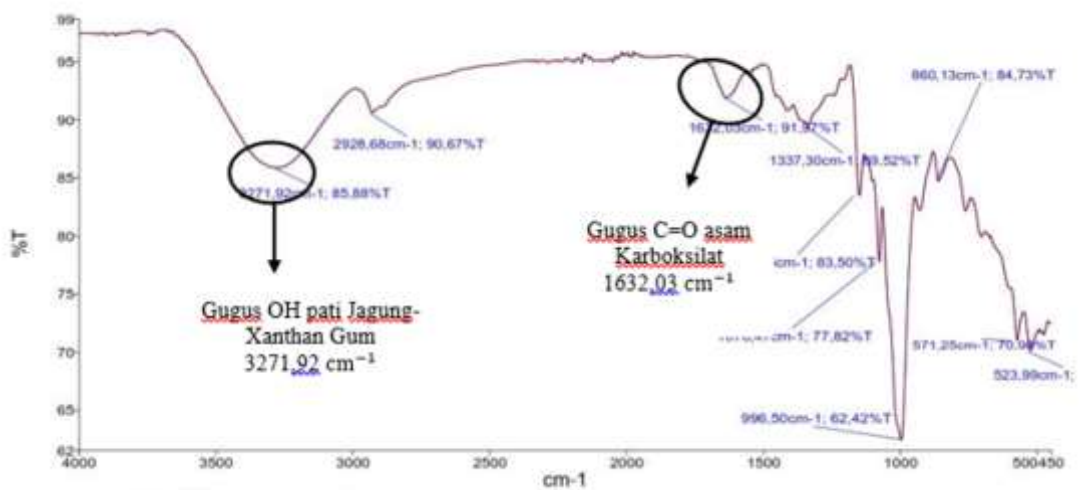
Gambar 2. Skema Reaksi Esterifikasi Pati Jagung, asam sitrat dan XG

Reaksi esterifikasi yang terjadi menghasilkan gugus ester dari gugus asam karboksilat yang ada pada asam sitrat, dengan gugus OH yang ada pada pati jagung dan XG. Asam sitrat digunakan untuk menghubungkan pati jagung dan XG agar dapat terjadi *crosslink*. Gambar 3 merupakan hasil uji FTIR pada formula 0 dan gambar 4, 5, 6, dan 7 merupakan hasil uji FTIR kopolimer.

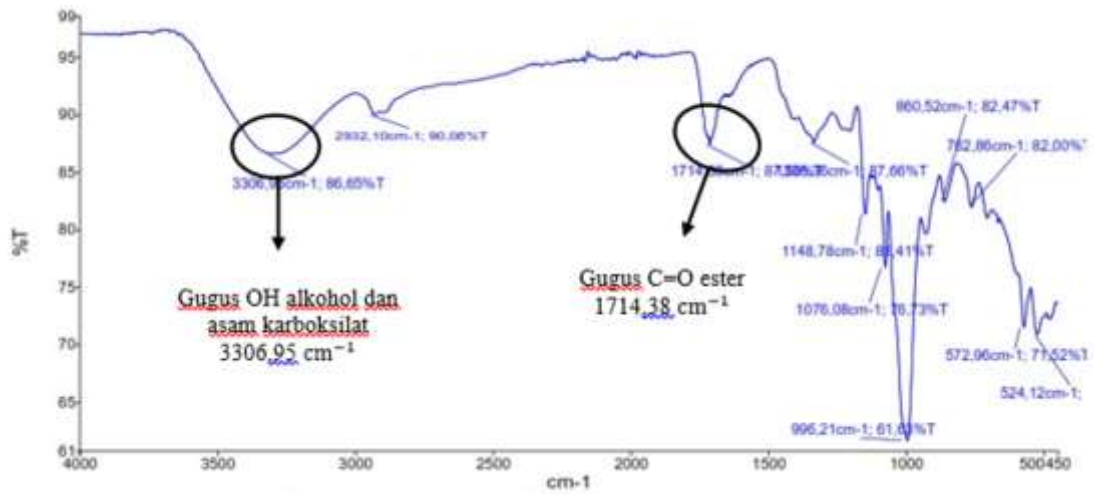




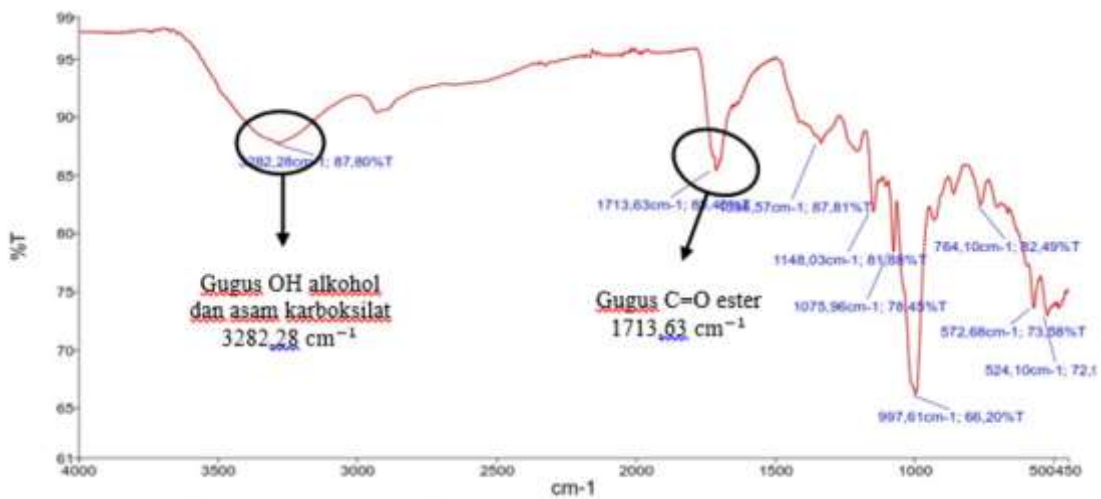
Gambar 3. Hasil FTIR (a) Asam sitrat, (b) Pati Jagung dan (c) XG



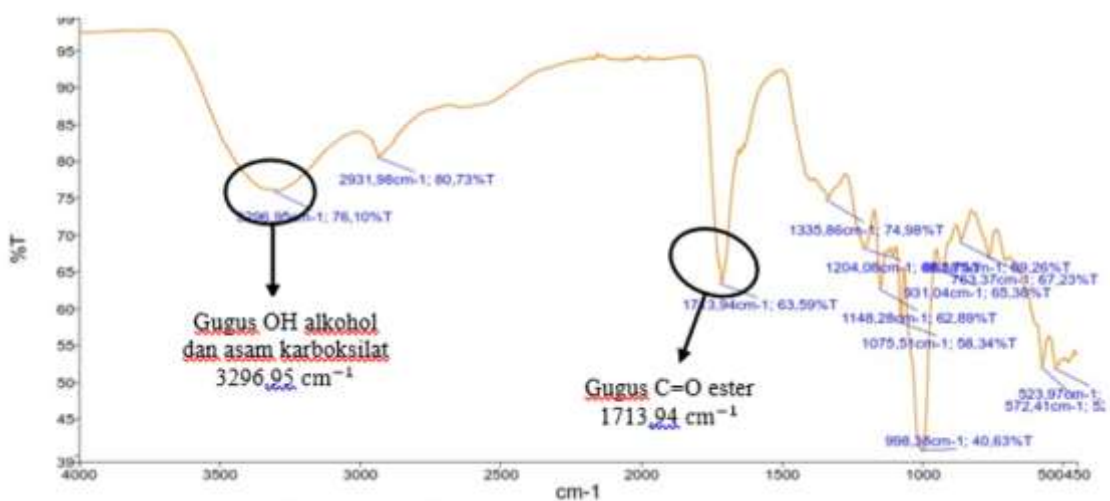
Gambar 4. Hasil FTIR Formula 0 (Pati Jagung-XG 5%)



Gambar 5. Hasil FTIR Formula 1 (Pati Jagung-Asam Sitrat-XG 5%)



Gambar 6. Hasil FTIR Formula 2 (Pati Jagung-Asam Sitrat-XG 10%)



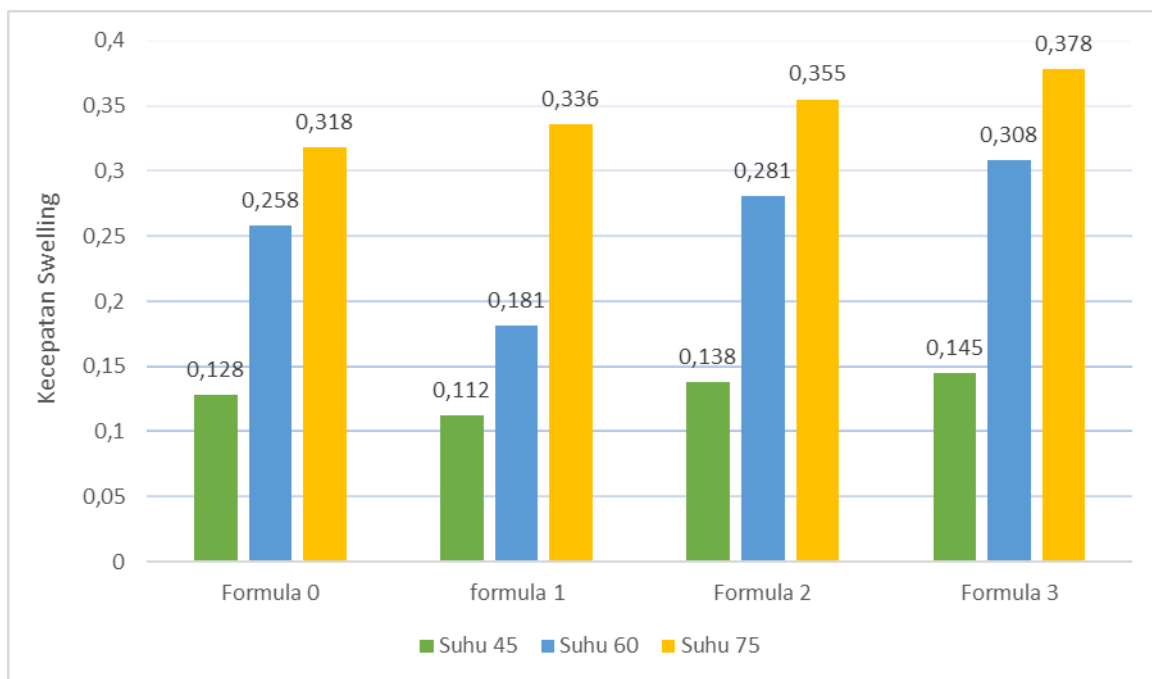
Gambar 7. Hasil FTIR Formula 3 (Pati Jagung-Asam Sitrat-XG 20%)

Gambar 4 terdapat gugus OH pati jagung pada gelombang 3291,03 cm⁻¹, sementara gugus OH pada XG berada pada gelombang 3272,60. Gugus OH asam sitrat berada pada gelombang 3321,98 cm⁻¹ dan gugus C=O asam karboksilat pada gelombang 1753,74 cm⁻¹.

Gambar 5, 6, 7 dan 8 menunjukkan perbedaan variasi konsentrasi XG tidak jauh berbeda antar gugus OH formula 0 dengan gugus OH hasil modifikasi. Gugus C=O terlihat perbedaan yang jelas gugus formula 0 dibandingkan hasil modifikasi. Formula 0 terdapat gugus OH pati jagung dan OH XG pada gelombang $3271,92\text{ cm}^{-1}$. modifikasi didapatkan hasil panjang gelombang OH pada rentang $3250\text{-}3300\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan bahwa pada panjang gelombang tersebut terdapat gugus asam karboksilat dan gugus OH alkohol. Formula 1 didapatkan gugus asam karboksilat dan gugus OH alkohol pada gelombang $3271,92\text{ cm}^{-1}$ dan gugus C=O pada gelombang $1714,38\text{ cm}^{-1}$ pada formula 2 gugus OH alkohol dan gugus asam karboksilat terletak pada gelombang $3306,95\text{ cm}^{-1}$ dan gugus C=O pada gelombang $1714,63\text{ cm}^{-1}$ dan formula 3 gugus OH alkohol dan gugus asam karboksilat terletak pada gelombang $3296,95\text{ cm}^{-1}$ sementara gugus C=O ditemukan pada gelombang $1713,94\text{ cm}^{-1}$. Gugus ester ditemukan pada rentang gelombang $1800\text{-}1650$ (Garcia *et al.*, 2011). Penelitian yang dilakukan [9] ditemukan gugus ester pada gelombang $1716,94\text{ cm}^{-1}$. Gambar 5, 6, 7, didapatkan bahwa *crosslink* ditandai dengan terbentuk gugus C=O pada formula 1 pada gelombang $1714,38\text{ cm}^{-1}$, formula 2 pada gelombang $1714,38\text{ cm}^{-1}$ dan dan formula 3 pada gelombang $1713,94\text{ cm}^{-1}$.

3.2.2 Uji *Swelling*

Uji *swelling* dilakukan untuk mengetahui kemampuan mengembang tablet.



Gambar 8. Grafik Kecepatan *Swelling* Kopolimer

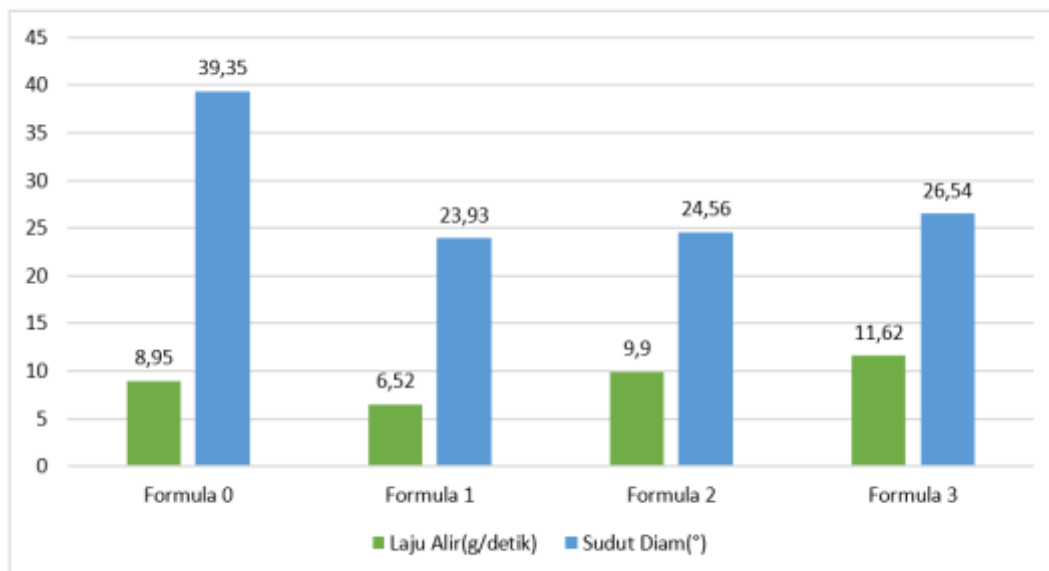
Gambar 8 menunjukkan bahwa peningkatan suhu pemanasan pati mengakibatkan penurunan kadar amilosa pati sehingga meningkatkan *swelling*, peningkatan *swelling* akibat pemanasan pati pada suhu yang semakin tinggi disebabkan kadar amilosa yang semakin rendah atau amilopektin dalam pati lebih tinggi. menurut [6] *swelling* pada pati dipengaruhi daya serap. semakin besar daya serap air. menyebabkan *swelling* meningkat. Hasil penelitian [5] menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan suspensi pati kadar amilosa pada pati semakin menurun.

Gambar 8 juga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi XG maka semakin besar pembengkakannya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Tethool & Dewi, 2017) yang mengatakan bahwa peningkatan konsentrasi XG cenderung meningkatkan daya pengembangan. Hal ini disebabkan karena karakteristik XG lebih mudah untuk mengikat air dan membentuk sistem koloidal. Xanthan gum memerangkap granula pati tergelatinisasi sehingga meningkatkan pengembangan. Hasil uji data statistika ANOVA menunjukkan bahwa data yang diperoleh nilai p lebih dari 0,05 sehingga data tidak berbeda signifikan.

Nilai *swelling* berhubungan dengan waktu hancur tablet. Mekanisme hancurnya tablet yang mengandung pati adalah melalui mekanisme pengembangan (*swelling*). Tablet akan semakin cepat larut dan hancur seiring dengan bertambahnya jumlah bahan penghancur yang ditambahkan. Semakin lambat mekanisme tablet dalam mengabsorpsi air, maka semakin lama pula bahan penghancur bekerja, sehingga semakin lama pula waktu hancurnya [11]. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu hancur suatu sediaan tablet selain sifat fisik granul yaitu kekerasan, porositas tablet, dan daya serap granul juga mempengaruhi waktu hancur tablet. Penambahan tekanan pada waktu penabletan dapat menyebabkan penurunan porositas dan menaikkan kekerasan tablet. Bertambahnya kekerasan tablet akan menghambat penetrasi cairan ke dalam pori-pori tablet sehingga memperpanjang waktu hancur tablet.

3.2.3 Uji Sifat alir dan Sudut Diam

Sifat alir digunakan untuk mengetahui mudah tidaknya aliran serbuk dan sifat permukaan serbuk. Sifat aliran serbuk yang baik dapat menjamin keseragaman bobot atau dosis yang dihasilkan. Uji kecepatan alir dan sudut diam dilakukan dengan sampel sebanyak 5 gram karena keterbatasan dari hasil kopolimer pati jagung. Hasil uji kecepatan alir dan sudut diam pada tabel 2.



Gambar 9. Laju Alir dan Sudut Diam

Sifat alir memegang peranan penting dalam pengisian bahan ke dalam die dan menjamin keseragaman bobot tablet. Sifat aliran dipengaruhi oleh aliran, ukuran partikel, bobot jenis, muatan elektrostatis dan kelembapan [8].

Laju alir yang baik menurut [8] dikategorikan bahwa pada laju alir <1,6 (gram/detik) sangat sukar, 1,6-4 (gram/detik) sukar, 4-10 (gram/detik) baik dan >10 sangat baik. Tabel 2 menunjukkan pada Formula 0, 1 dan 2 mempunyai sifat alir yang baik dan pada formula 3 menunjukkan sifat alir yang sangat baik. Hasil uji data statistika shapiro-wilk menunjukkan bahwa data yang diperoleh terdistribusi normal dengan nilai p lebih besar dari 0,05.

Sudut diam merupakan sudut terbentuk antara serbuk yang berbentuk kerucut dengan bidang datar. Pengukuran sudut diam dengan membandingkan antara tinggi kerucut serbuk yang terbentuk dengan diameternya. Sudut diam apabila $\leq 30^\circ$ maka serbuk mampu mengalir dengan baik, namun apabila $\geq 40^\circ$ maka sifat alirnya menjadi kurang baik. Semakin kecil nilai sudut diam semakin baik sifat alir granul sehingga tablet memiliki keseragaman bobot yang seragam. Tabel 2 menunjukkan Hasil pengukuran sudut diam pada formula 1, 2 dan 3 mempunyai sifat alir yang baik sememntara pada formula 0 mempunyai sifat alir yang kurang baik. Hasil uji data statistika shapiro-wilk menunjukkan bahwa data yang diperoleh tidak terdistribusi normal dengan nilai p kurang dari 0,05.

4. Kesimpulan

Modifikasi pati jagung dan XG dengan *crosslinking agent* asam sitrat telah berhasil dilakukan. Hal ini menunjukkan telah terjadi proses *crosslinked* secara esterifikasi, yang diperkuat dari hasil FTIR adanya gugus C=O (ester) pada panjang gelombang 1713,94 cm^{-1} , 1714,38 cm^{-1} dan 1714,63 cm^{-1} pada formula 1, 2, dan 3. Hasil karakterisasi material kopolimer memiliki nilai *swelling* yang semakin tinggi, sudut diam dan kecepatan alir yang memenuhi persyaratan. Hasil material kopolimer modifikasi pati jagung memiliki sifat-sifat yang lebih baik secara fisika dan kimia jika dibandingkan dengan tanpa dimodifikasi. Untuk menguatkan hasil penelitian ini penting untuk dilakukan karakterisasi material kopolimer hasil modifikasi dengan data DSC, XRD, dan NMR.

Ucapan Terima Kasih (jika ada)

Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Fakultas Farmasi UMS yang telah memberikan fasilitas penelitian, LPMPP UMS.

Referensi

- [1] Benny, I. S., Gunasekar, V., & Ponnusami, V. (2014). Review on application of Xanthan gum in Drug delivery. *International Journal of PharmTech Research*, 6(4), 1322–1326.
- [2] Chai, K., Lu, K., Xu, Z., Tong, Z., & Ji, H. (2018). Rapid and selective recovery of acetophenone from petrochemical effluents by crosslinked starch polymer. *Journal of Hazardous Materials*, 348(2010), 20–28.
- [3] Dengan, U., & Hidrolisis, M. (2012). Pengaruh Modifikasi Amilum Bengkuang (*Pachyrrhizus erosus*, Urban) Dengan Metode Hidrolisis. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia
- [4] Garcia, P. S., Eiras Grossmann, M. V., Yamashita, F., Mali, S., Dall'Antonia, L. H., & Barreto, W. J. (2011). Citric acid as multifunctional agent in blowing films of starch/PBAT. *Quimica Nova*, 34(9), 1507–1510.
- [5] Haryanti, P., Setyawati, R., & Wicaksono, R. (2014). Pengaruh Suhu Dan Lama Pemanasan Suspensi Pati Serta Konsentrasi Butanol Terhadap Karakteristik

- Fisikokimia Pati Tinggi Amilosa Dari Tapioka. *Jurnal Agritech*, 34(03), 308.
- [6] Jading, A. et al. (2011). Bertenaga Surya Dan Biomassa Physicochemical Characteristics of Sago Starch Obtained From. *Reaktor*, 13(3), 155–164.
- [7] Khikmah, N., Muflihati, I., Affandi, A. R., & Nurdyansyah, F. (2021). Sifat Fisik Pati Ganyong Hasil Modifikasi Cross Linking Menggunakan Natrium Asetat. *Jurnal Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 17(1), 35–40.
- [8] Murtini, G., & Elisa, Y. (2018). *Teknologi Sediaan Solid*. Jakarta: Kementrian. Kesehatan Republik Indonesia.
- [9] Peidayesh, H., Ahmadi, Z., Khonakdar, H. A., Abdouss, M., & Chodák, I. (2020). Baked hydrogel from corn starch and chitosan blends cross-linked by citric acid: Preparation and properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(6), 1256–1269.
- [10] Pudjihastuti, I. (2010). *Pengembangan Proses Inovatif Kombinasi Reaksi Hidrolisis Asam dan Reaksi Fotokimia UV untuk Produksi Pati Termodifikasi dari Tapioka*. 1–39.
- [11] Rahayu, S., Azhari, N., & Ruslinawati, I. (2017). Penggunaan Amylum Manihot Sebagai Bahan Penghancur Dalam Formulasi Tablet Ibuprofen Secara Kombinasi Intragranular-Ekstragranular. *Journal of Current Pharmaceutical Sciences*, 1(1), 2598–2095.
- [12] Reddy, N., & Yang, Y. (2010). Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry*, 118(3), 702–711.
- [13] Tethool, E. F., & Dewi, A. M. P. (2017). Pengaruh Konsentrasi Xanthan Gum Terhadap Sifat Fisikomia Tepung Komposit Dan Roti Yang Dihasilkan Dari Ubi Jalar Dan Sagu. *Prosiding SNST Ke-8, August*, 61–66.
- [14] Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A., Gill, B. S., & Shivhare, U. S. (2010). Physico-chemical properties of starches from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2176–2185.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
