

PENGARUH SUHU TERHADAP DAYA KEMBANG, KELARUTAN, DAN KAPASITAS PENGIKATAN AIR PADA PATI UBI JALAR TERMODIFIKASI ULTRASONIK

Temperature Influence on Swelling Power, Solubility, and Water Binding Capacity of Ultrasound-treated Sweet Potato Starch

Grace Maria Ulfa^{*}, Irma Nopriyani¹, Vivien Fathuroya¹, Widya Dwi Rukmi Putri^{1,2}, Kiki Fibrianto^{1,2}, Simon Bambang Widjanarko¹

¹Departemen Ilmu Pangan dan Bioteknologi – Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya
Jl Veteran – Malang 65145

²Pusat Senso-Gastronomi Brawijaya – Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya
Jl Veteran – Malang 65145

Penulis Korespondensi, email : gracemariaulfa@student.ub.ac.id

Disubmit : 27 September 2022 Direvisi : 20 November 2022 Diterima : 7 Desember 2022

ABSTRAK

Gelombang ultrasonik dapat dimanfaatkan untuk mengubah sifat fisik dan kimia pati ubi jalar. Pati yang telah dimodifikasi menggunakan gelombang ultrasonik dengan rentang suhu 35-60 °C memiliki peningkatan sifat fisik dibandingkan pati ubi jalar alami. Daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air merupakan beberapa parameter penting yang menentukan sifat fungsional pati modifikasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati ubi jalar yang telah dimodifikasi. Hasil analisis morfologi pati menunjukkan munculnya struktur berpori pada pati ubi jalar termodifikasi, serta adanya perubahan intensitas serapan IR. Selain itu, modifikasi pati ubi jalar menggunakan gelombang ultrasonik mampu meningkatkan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pati hingga titik tertentu. Akhirnya, diketahui suhu 55 °C memberikan hasil terbaik pada respon yang diamati.

Kata kunci: Fisikokimia; Modifikasi Pati; Pati, Ubi Jalar; Ultrasonik

ABSTRACT

Ultrasonic waves can be used to change the physical and chemical properties of sweet potato starch. Starch that has been modified using ultrasonic waves with a temperature range of 35-60 °C has improved physical properties compared to native sweet potato starch. The swelling power, solubility and water-binding ability are some of the important parameters that determine the functional properties of modified starch. This research objectives to determine the effect of temperature on swelling power, solubility, and water-binding ability of the modified sweet potato starch. The results of the starch morphological analysis showed the appearance of porous structure in the modified sweet potato starch, as well as a change in the intensity of IR absorption. In addition, the modification of sweet potato starch using ultrasonic waves can increase the swelling power, solubility, and water-binding ability of starch to a certain point. Finally, it is known that the temperature of 55 °C gives the best results for the observed responses.

Keywords: Physicochemical; Modified Starch;; Starch; Sweet Potato; Ultrasound

PENDAHULUAN

Ubi jalar merupakan salah satu komoditas yang mudah diperoleh dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Terdapat peningkatan tren produksi ubi jalar Indonesia dan menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen ubi jalar terbesar dunia (FAOSTAT, 2018; Suryani, 2016). Kendati demikian, pemanfaatan ubi jalar di Indonesia masih terbatas dan tidak sepopuler ubi kayu, jagung, dan beras. Oleh karena itu, peningkatan nilai ekonomi ubi jalar diperlukan.

Selama pemrosesan pangan, granula pati tergelatinisasi sebagai hasil dari pemanasan dalam air. Hal ini menyebabkan granula mengembang, daerah kristalin meleleh, dobel-heliks membuka, penyerapan air di daerah amorf, perubahan letak unit amilopektin, dan leaching amilosa dari granula (Atkin *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2010). Bersamaan dengan proses gelatinisasi ini, suspensi cairan granula semi kristalin berubah bentuk menjadi fase gel amorf. Pati dalam fase gel amorf bersifat sangat pekat, sehingga penggunaannya disukai sebagai pengental, pengikat, peningkat stabilitas, meningkatkan *mouthfeel*, dan memberikan kilau (Iida *et al.*, 2008).

Pati ubi jalar berpotensi besar digunakan sebagai pengental dan pengisi pada pangan instan. Namun pati ubi jalar memiliki beberapa kelemahan seperti keterbatasan penggunaan akibat panas, gaya gesek, dan viskositas yang rendah (Castanha *et al.*, 2018; Noda *et al.*, 2007). Kemampuan pengembangan dan kelarutan pati ubi jalar rendah dalam bentuk alaminya. Selain itu, pati ubi jalar juga memiliki kemampuan pengikatan air yang rendah dan kurang menguntungkan dalam penggunaannya di industri pangan instan (Ulfa *et al.*, 2020). Modifikasi pati dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut. Modifikasi pati dapat dilakukan dengan cara fisik (mekanis), kimia, maupun enzimatik (Bemiller dan Huber, 2015; Ulfa *et al.*, 2020). Perlakuan ultrasonik dengan gelombang berfrekuensi tinggi di atas batas pendengaran manusia dapat dilakukan untuk memodifikasi larutan pati (Herceg *et al.*, 2010; Zuo *et al.*, 2012). Ultrasonikasi pada pati kentang, beras, tapioka, gandum, dan jagung diketahui menunjukkan peningkatan

kelarutan dan daya kembang pati (Jambrak *et al.*, 2010; Luo *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2013). Peningkatan kemampuan menyerap air juga ditunjukkan pada pati tapioka termodifikasi ultrasonik (Manchun *et al.*, 2012).

Proses ultrasonik memiliki keuntungan karena 1) prosesnya tidak membutuhkan bahan kimia maupun aditif; 2) prosesnya sederhana dan cepat sehingga hemat (*cost effective*); dan 3) proses tidak akan menginduksi perubahan besar di struktur kimia (Iida *et al.*, 2008). Ultrasonikasi dapat menyebabkan degradasi fisik karena disrupsi daerah amorf granula pati (Sujka dan Jamroz, 2013). Efek kavitasi dan pembentukan radikal hidroksil merupakan penyebab terjadinya disrupsi pada pati ultrasonik (Jambrak *et al.*, 2010; Zhu, 2015). Seiring dengan peningkatan suhu maka kapasitas pengikatan air, daya kembang, dan kelarutan akan semakin meningkat hingga titik tertentu hingga granula pati mengalami disrupsi (Jambrak *et al.*, 2010; Zheng *et al.*, 2013; Ulfa *et al.*, 2020). Proses sonikasi dapat mempengaruhi proses tersebut akibat munculnya gelembung kavitasi (Jambrak *et al.*, 2010; Sujka dan Jamroz, 2013; Zhu, 2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air pada pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik.

METODE

Ubi jalar putih varietas Sembowo yang diperoleh dari Kulonprogo, Yogyakarta (7°38'42"-7°59'3" Lintang Selatan dan 110°1'37"-110°16'26" Bujur Timur) digunakan sebagai bahan penelitian. Selanjutnya ubi diolah menjadi pati. Ubi dikupas, dipotong kecil-kecil (kira-kira 4±1 cm² dan ketebalan 1-1.5 cm), dan diparut. Parutan ditambah air dan disaring dengan kain saring untuk memperoleh pati. Endapan pati (*cake*) diambil dan air dibuang, lalu dikeringkan oven suhu 50±2 °C selama 24 jam. Pati disimpan dalam botol gelap dengan gel silika untuk analisis lebih lanjut. Bahan lain yang diperlukan adalah akuades untuk

media sonikasi dan pengujian daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah ultrasonik tipe bath (JP-010s, Skymen, China), timbangan analitik (Mettler Toledo Inc., USA), oven listrik (Mettler, Germany), shaker waterbath (Mettler, Germany), sentrifus (EBA 20, Hettich, Germany).

Modifikasi Ultrasonik

Proses ultrasonikasi pati ubi jalar dilakukan mengikuti metode Jambrak *et al.* (2010) dengan sedikit modifikasi. Pati sebanyak 100 g ditambahkan 100 ml akuades dan dihomogenkan. Suspensi pati diberikan perlakuan ultrasonikasi dengan suhu bervariasi yaitu 35, 40, 45, 50, 55, dan 60 °C selama 10 menit. Setelah ultrasonikasi, suspensi pati dikeringkan dengan oven suhu 50±2 °C dan disimpan dibotol gelap dengan gel silika untuk analisis.

Analisis Daya Kembang dan Kelarutan

Analisis daya kembang dan kelarutan dilaksanakan dengan metode Kaur *et al.* (2011). Suspensi pati (1%) dibuat dengan akuades dan dipanaskan di *waterbath* suhu 90 °C selama 30 menit disertai pengadukan dengan kecepatan konstan. Setelah pendinginan, suspensi pati disentrifugasi kecepatan 3200 rpm selama 10 menit. Selanjutnya supernatan dipisahkan dengan endapan. Bagian endapan pada tabung sentrifus ditimbang dan dihitung menggunakan Persamaan (1). Bagian supernatan yang diambil dari tabung sentrifus dikeringkan dengan cawan petri dan dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Daya kembang } \left(\frac{g}{g}\right) = \frac{\text{Berat pasta endapan (g)}}{\text{Berat sampel kering (g)}} \dots\dots(1)$$

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\text{Berat pati terlarut (g)}}{\text{Berat sampel kering (g)}} \times 100\dots(2)$$

Analisis Kapasitas Pengikatan Air

Kapasitas pengikatan air dilakukan berdasarkan metode Iheagrawa (2013) dengan sedikit modifikasi. Suspensi pati dibuat dengan mencampurkan 3 g pati dengan 60 ml air akuades. Sentrifugasi suspensi dengan kecepatan 3200 rpm dilakukan selama 10 menit. Kelebihan air dibuang dan bagian yang

mengendap ditimbang dan dihitung dengan Persamaan (3).

Kapasitas pengikatan air =

$$\frac{\text{Berat pasta endapan (g)}}{\text{Berat sampel kering (g)}} \times 100\dots\dots\dots(3)$$

Analisis Morfologi

Pengamatan morfologi pati ubi jalar alami dan pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* (Hitachi TM3000, Jepang) 15kV. Sampel dilapisi dengan paladium sebelum pengamatan.

Analisis Ikatan Antar Atom

Pengamatan ikatan antar atom pati ubi jalar alami dan pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FT-IR)* (Shimadzu 8400S, Jepang). Area antara 400 cm⁻¹ sampai dengan 4000 cm⁻¹ diukur sebagai spektrum FT-IR.

Analisis Statistik

Pengujian daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air dilakukan menggunakan *one way ANOVA*. Uji lanjut dilakukan menggunakan uji *Tukey* untuk menguji perbedaan antar perlakuan apabila hasil berbeda signifikan. Tingkat kepercayaan 5% digunakan pada penelitian ini. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengujian adalah Minitab 17 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Daya Kembang dan Kelarutan

Daya kembang dan kelarutan pati ubi jalar dan pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik dapat dilihat pada Tabel 1. Daya kembang pati ubi jalar alami dan modifikasi berkisar antara 16,26-36,04 g/g. Sedangkan, kelarutan pati ubi jalar alami dan modifikasi yang diteliti berkisar antara 1,58-5,67%. Daya kembang dan kelarutan pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik meningkat setelah ultrasonikasi dibandingkan pati ubi jalar alami.

Tabel 1. Efek suhu pada daya kembang dan kelarutan pati ubi jalar modifikasi ultrasonik

Suhu (°C)	Daya Kembang (g/g)	Kelarutan (%)
0	16,26±0,52 e	1,58±0,07 d
35	19,38±0,46 d	4,82±0,08 b
40	20,41±0,13 d	5,02±0,14 b
45	22,34±0,62 c	5,67±0,28 a
50	25,16±0,37 b	5,45±0,17 a
55	36,04±0,11 a	2,37±0,05 c
60	26,05±0,62 b	2,31±0,11 c

Keterangan: Setiap data mewakili rata-rata 3x pengulangan

Peningkatan respon yang diperoleh disebabkan oleh disrupsi yang terjadi pada pati ubi jalar akibat perlakuan ultrasonikasi. Daya kembang menunjukkan bukti interaksi antara area amorf dan kristalin (Takizawa *et al.*, 2004). Granula pati memiliki sifat pengembangan terbatas dengan sejumlah pati terlarut selama gelatinisasi terjadi. Namun saat suhu tinggi, terdapat peningkatan daya kembang dan sejumlah komponen pati lepas dari granula (Adedokun dan Itiola, 2010; Mat *et al.*, 1992). Kelarutan pati meningkat seiring dengan peningkatan suhu proses (Paterson *et al.*, 1994; Ulfa *et al.*, 2020). Peningkatan kelarutan terjadi saat suhu tinggi mengindikasikan peningkatan kelarutan amilopektin dan peningkatan ini semakin besar setelah disrupsi granula (Zhu, 2015).

Nilai daya kembang maksimal pati ultrasonik diperoleh pada suhu 55 °C. Sedangkan kelarutan maksimal diperoleh pada suhu 45 dan 50 °C dengan hasil tidak berbeda nyata. Peningkatan yang terjadi pada kedua respon berhubungan dengan peningkatan suhu dalam ultrasonikasi. Peningkatan daya kembang dan kelarutan diperoleh seiring dengan peningkatan suhu perlakuan (Ulfa *et al.*, 2020). Selanjutnya kedua respon menunjukkan tren penurunan. Penurunan daya kembang pada pati terjadi karena disrupsi granula setelah pengembangan. Nilai kelarutan juga menurun yang berkorelasi positif dengan daya kembang (Ulfa *et al.*, 2019). Perubahan yang terjadi pada respon juga disebabkan perubahan kristalinitas pada granula pati. Kehilangan kristalinitas dapat meningkatkan daya kembang dan kelarutan pati, sedangkan penurunan sifat amorf pati menyebabkan penurunan nilai pada kedua respon.

Perubahan yang terjadi pada daya kembang dan kelarutan pati dipengaruhi oleh kondisi proses ultrasonik terutama suhu. Penelitian Jambrak *et al.* (2010) pada pati jagung ultrasonik diketahui mengalami peningkatan daya kembang. Peningkatan daya kembang dan kelarutan pati ultrasonik juga ditemukan pada pati umbi-umbian (Krishnakumar dan Sajeew, 2018; Manchun *et al.*, 2012) dan sereal (Jambrak *et al.*, 2010; Zuo *et al.*, 2009). Peningkatan ini berhubungan secara langsung dengan peningkatan suhu. Peningkatan daya kembang juga berasosiasi dengan kapasitas penyerapan air dan kelarutan pati kentang (Jambrak *et al.*, 2010; Ulfa *et al.*, 2019).

Perubahan nilai daya kembang dan kelarutan juga dipengaruhi oleh disrupsi granula. Ketika tenaga ultrasonik ditingkatkan, granula pati khususnya di bagian amorf menjadi lebih mudah rusak. Hidrofilisitas pati juga meningkat setelah perlakuan ultrasonikasi yang memfasilitasi masuknya air ke granula pati. Peningkatan air yang masuk ke granula menyebabkan *leaching* amilosa lebih besar di daerah amorf pati. Ikatan inter dan intra molekuler di rantai pati mengalami disrupsi dan pergerakan bebas rantai pati meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Hal ini menyebabkan peningkatan nilai kelarutan (Herceg *et al.*, 2010).

Dampak utama disintegrasi granula pati disebabkan oleh gelombang kavitasi. Kavitasi yang secara mendadak pecah akan menginduksi gradien bertekanan tinggi dan kecepatan lapisan cairan permukaan sehingga terjadi gaya gesek yang mampu melubangi (*pitting*) granula pati. Ikatan kovalen rantai polimer pati juga dapat putus akibat hal ini. Struktur kristalin pati pecah dan molekul air dapat terikat pada gugus hidrosil bebas amilosa dan amilopektin dengan ikatan hidrogen. Hal ini dapat meningkatkan daya kembang (Bai *et al.*, 2016; Jambrak *et al.*, 2010).

Uji Kapasitas Pengikatan Air

Hasil uji *one way* ANOVA kapasitas pengikatan air dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Efek suhu pada kapasitas pengikatan air pati ubi jalar modifikasi ultrasonik

Suhu (°C)	Kapasitas Pengikatan Air (%)
0	76,07±0,42 f
35	94,88±1,85 e
40	101,13±0,48 d
45	112,23±0,99 c
50	116,65±2,67 c
55	166,59±1,07 a
60	146,49±3,37 b

Keterangan: Setiap data mewakili rata-rata 3x pengulangan

Kapasitas pengikatan pati ubi jalar berkisar antara 76,07-166,59%. Pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik mengalami peningkatan kapasitas pengikatan air apabila dibandingkan dengan pati ubi jalar alami. Nilai kapasitas pengikatan air tertinggi diketahui pada suhu 55 °C. Efek ini kemungkinan disebabkan karena disrupsi granula pati akibat efek kavitas.

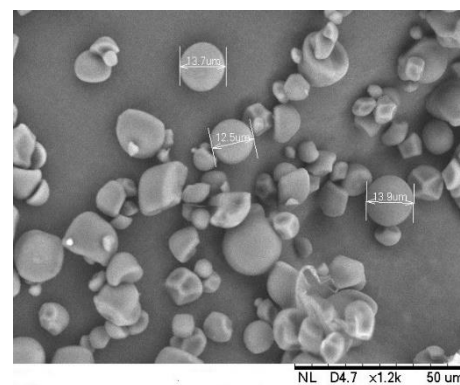
Kemampuan masuknya air ke dalam granula pati yang semakin besar adalah karena disrupsi granula akibat sonikasi yang menyebabkan peningkatan penyerapan dan penahanan air (Kim *et al.*, 2006; Sandhu dan Singh, 2007; Ulfa *et al.*, 2020). Peningkatan ini juga ditemukan pada pati jagung (Jambrak *et al.*, 2010) dan tapioka (Manchun *et al.*, 2012). Struktur granula pati menjadi lebih tidak kompak akibat ikatan intermolekuler pati dipecah oleh efek sonikasi. Sonikasi mendegradasi bagian amorf pati. Semakin banyak amilosa pati, maka degradasi pati semakin tinggi (Luo *et al.*, 2008). Disrupsi granula dapat memfasilitasi masuknya air ke granula pati (Manchun *et al.*, 2012; Ulfa *et al.*, 2019).

Perlakuan ultrasonik memecah dan secara mekanis merusak granula pati oleh gelembung-gelembung kavitas yang menginduksi gradien bertekanan tinggi serta kecepatan lapisan cairan lokal yang tinggi di sekitarnya. Hal ini menyebabkan gaya gesek yang mampu memutus rantai polimer dan merusak granula. Air juga terdekomposisi sebagian menjadi radikal OH dan atom H dalam gelembung-gelembung kavitas yang *collapse*. Beberapa radikal ini akan berdifusi keluar ke cairan dan bereaksi dengan molekul solut menyebabkan degradasi polimer

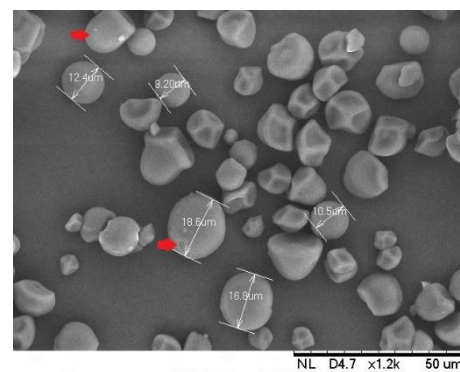
(Czechowska-biskup *et al.*, 2005; Zheng *et al.*, 2013).

Karakteristik Morfologi

Mikrograf pati ubi jalar alami dan modifikasi ultrasonik ditunjukkan Gambar 1 (a-b). Pati termodifikasi ultrasonik tidak mengalami perubahan bentuk. Namun muncul struktur berpori, retakan, dan celah pada pati ubi jalar. Hal ini terjadi akibat efek kavitas ultrasonik sehingga terjadi disrupsi granula. Temuan ini juga dilaporkan pada pati kentang (Bai *et al.*, 2016) dan jagung (Jambrak *et al.*, 2010).



(a)



(b)

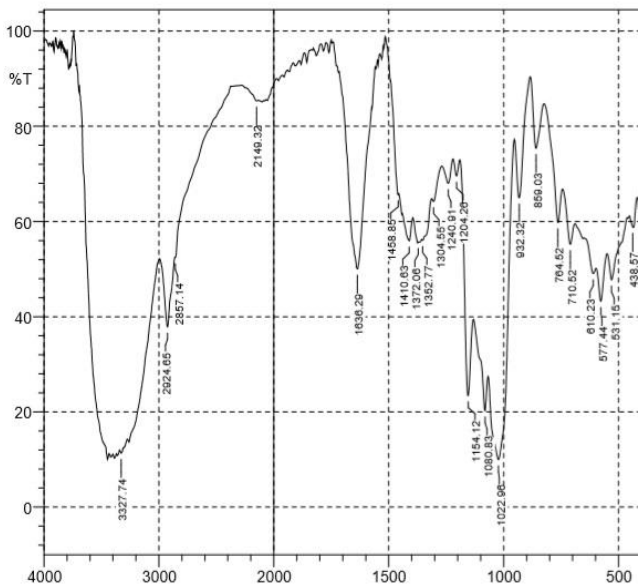
Gambar 1. Mikrograf Pati a) ubi jalar; b) Ubi Jalar Termodifikasi Ultrasonik (1200x)

Pada eksperimen ultrasonik frekuensi rendah (≤ 100 kHz), gelembung yang terbentuk lebih besar dibandingkan ukuran granula, sehingga energinya lebih kuat. Inilah yang menyebabkan *collapse* gelembung menghasilkan gaya gesek yang merusak granula. Kerusakan yang tampak adalah retakan dan *fissure* pada granula. Sebaliknya bila frekuensi tinggi (≥ 100 kHz),

collapse gelembung akan terjadi lebih intens dan gelembung yang muncul lebih kecil sehingga mampu menimbulkan “*micro jets*” dan merusak dengan menimbulkan *pitting*. Gelembung yang terbentuk pada frekuensi ini juga lebih kecil dari granula (Bai *et al.*, 2016). Ultrasonikasi frekuensi rendah menyebabkan *scratch*, defek, atau retakan (Jambrak *et al.*, 2010; Sujka dan Jamroz, 2013; Zuo *et al.*, 2012).

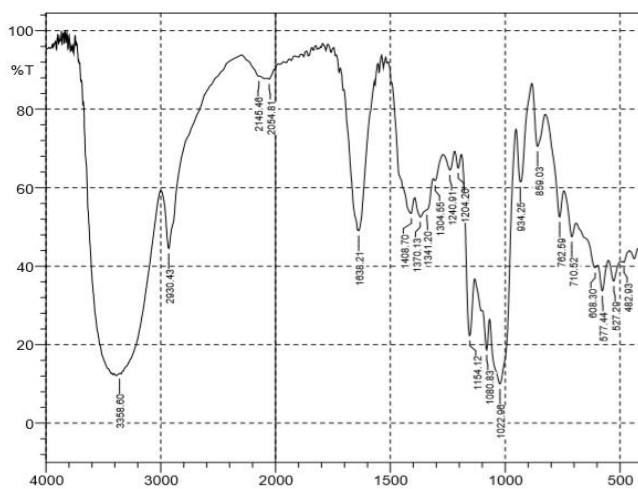
Hasil uji spectra FT-IR pati ubi jalar alami dan pati ubi jalar termodifikasi ultrasonic dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tidak ada penambahan puncak yang muncul karena ultrasonikasi tidak mengubah struktur kimia pati. Namun terjadi perubahan intensitas puncak sebagai akibat perlakuan ultrasonikasi. Hal ini juga ditemukan pada pati ubi jalar yang dimodifikasi dengan dua frekuensi ultrasonik (Zheng *et al.*, 2013).

Analisis Spektrum IR



Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are	
1	438.57	58.81	3.95	452.07	419.29	7.06	0.53
2	531.15	47.76	7.16	550.44	463.65	23.56	2.35
3	577.44	43.26	8.18	596.73	552.37	14.3	1.59
4	610.23	49.09	2.48	650.73	598.65	14.57	0.39
5	710.52	55.2	6.99	743.31	691.23	11.66	1.18
6	764.52	59.77	11.46	822.38	745.23	11.48	1.88
7	859.03	75.38	12.66	884.1	824.31	5.46	1.98
8	932.32	64.98	15.91	951.6	886.03	7.77	2.65
9	1022.96	10	36.87	1067.32	953.53	73.11	35.28
10	1080.83	20.28	9.3	1130.97	1069.25	33.05	3.03
11	1154.12	23.44	28.25	1190.76	1132.9	23.42	7.6
12	1204.26	69.57	3.38	1219.69	1192.69	4	0.3
13	1240.91	68.01	4.46	1267.91	1221.62	7.15	0.65
14	1304.55	64.2	1.84	1312.27	1269.84	7.19	0.2
15	1352.77	56.05	0.53	1354.7	1314.2	9.26	0.44
16	1372.06	55.64	0.5	1393.27	1370.13	5.62	0.13
17	1410.63	55.96	5.14	1439.56	1395.2	10.41	0.96
18	1458.85	65.63	1.55	1491.63	1456.92	4.17	0.19
19	1636.29	50.03	41.96	1715.36	1559.14	25.24	19.58
20	2149.32	85.32	0.46	2276.61	2133.89	8.61	0.06
21	2857.14	52.47	0.16	2859.07	2373.04	62.94	-18.06
22	2924.65	37.85	14.49	2994.08	2861	45.59	8.17
23	3327.74	11.35	0.88	3343.17	3310.38	30.5	0.58

Gambar 2. Hasil Uji FTIR Pada Pati Ubi Jalar Alami



Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are	
1	482.93	40.955	0.791	488.72	459.79	10.778	0.949
2	527.29	36.193	5.119	550.44	498.36	21.317	1.306
3	577.44	33.685	7.054	596.73	552.37	18.932	1.68
4	608.3	39.607	1.709	691.23	598.65	31.746	0.318
5	710.52	47.5	6.304	743.31	693.16	14.233	1.12
6	762.59	52.545	10.937	824.31	745.23	15.151	2.014
7	859.03	70.545	12.653	882.17	826.24	6.841	2.112
8	934.25	61.438	16.295	951.6	884.1	9.363	3.031
9	1022.96	10	35.37	1067.32	953.53	74.579	35.093
10	1080.83	18.684	8.62	1098.18	1069.25	18.54	2.289
11	1154.12	22.29	26.094	1190.76	1132.9	25.223	7.727
12	1204.26	65.007	3.748	1219.69	1192.69	4.73	0.342
13	1240.91	64.494	4.415	1269.84	1221.62	8.516	0.7
14	1304.55	61.8	1.88	1312.27	1271.76	7.601	0.177
15	1341.2	54.36	0.533	1343.13	1314.2	6.931	0.2
16	1370.13	52.524	3.508	1393.27	1343.13	13.455	0.763
17	1408.7	53.479	7.918	1493.56	1395.2	20.157	5.076
18	1638.21	49.041	1.246	1640.14	1570.71	12.269	0.389
19	2054.81	87.672	0.732	2066.38	1987.31	3.888	0.176
20	2145.46	88.419	0.153	2292.04	2141.6	6.01	0.035
21	2930.43	44.514	18.072	2997.94	2293.97	85.992	10.912
22	3358.6	12.585	0.072	3364.39	3352.81	10.398	0.01

Gambar 3. Hasil Uji FTIR Pada Pati Ubi Jalar Termodifikasi Ultrasonik

Sebagaimana sifat polisakarida seperti pati, terdapat puncak yang terletak di daerah 800-1300 cm^{-1} yang diketahui sebagai pita sakarida hasil vibrasi *stretching* ikatan COC dan COO serta *bending* ikatan COH. Puncak ini merupakan pita paling intens di spektrum IR (Mousia *et al.*, 2001; Nakorn *et al.*, 2009; Ulfa *et al.*, 2020).

Terdapat perubahan puncak 400-800, 2000-3500 cm^{-1} pada pati ultrasonik. Hal ini disebabkan pelemahan ikatan antar molekul pati setelah ultrasonikasi. Struktur kristalin dan ikatan hidrogen pati akan rusak akibat ultrasonikasi sehingga strukturnya menjadi longgar dan degradasi terjadi (Herceg *et al.*, 2010). Disintegrasi granula akibat kavitasi dapat memecah ikatan kovalen. Gugus hidroksil bebas dari amilosa dan amilopektin dapat berikatan dengan molekul air melalui ikatan hidrogen (Jambrak *et al.*, 2010).

Perlakuan ultrasonik dapat mempengaruhi dispersi pati dan pasta pati melalui 3 cara, yaitu 1) granula pati rusak, munculnya *pitting*, dan celah di dispersi granula pati; 2) terdapat pengurangan berat molekul amilosa dan amilopektin karena pemutusan ikatan C-C; 3) granula pati membengkak dan beragregat yang dapat larut, termasuk granula "ghost" yang tetap ada setelah gelatinisasi sempurna dispersi pati (Debet dan Gidley, 2007). Efek ultrasonik ini tergantung kepada tenaga sonikasi, frekuensi, suhu, lama reaksi, dan sifat dispersi pati seperti konsentrasi dan sumber pati (Zuo *et al.*, 2009). Berdasarkan berbagai sifat fisikokimia pati ultrasonik, pati ultrasonik sangat sesuai digunakan pada produk pangan berbasis emulsi seperti jus buah, mayones, dan saus (Wu *et al.*, 2000; Patist dan Bates, 2008) serta pangan instan yang membutuhkan pati dengan kelarutan lebih tinggi di air.

SIMPULAN

Ultrasonikasi dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fungsional pati ubi jalar alami. Pati termodifikasi ultrasonik menunjukkan peningkatan daya kembang, kelarutan, dan kapasitas pengikatan air hingga titik tertentu. Suhu 55 °C

memberikan hasil terbaik pada respon yang diamati. Struktur berpori dan retakan juga muncul pada pati setelah ultrasonikasi. Pati termodifikasi ultrasonik dapat dilakukan untuk mengatasi kelemahan pati alami dan memenuhi kebutuhan industri. Pati ubi jalar termodifikasi ultrasonik disarankan untuk produk-produk berbasis emulsi dan pangan instan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui pendanaan Program Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) batch III dengan nomor kontrak 330.83/UN10.C10/PN/201.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedokun, M, -O., Itiola, O, -A. 2010. Material properties and compaction characteristics of natural and pregelatinized forms of four starches. *Carbohydrate Polymers*. 79(4), 818-824. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.009>
- Atkin, N, -J., Abeysekera, R, -M., Cheng, S, -L., Robards, A, -W. 1998. An experimentally-based predictive model for the separation of amylopectin subunits during starch gelatinization. *Carbohydrate Polymers*. 36(3), 173-192. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00003-4)
- Bai, -W., Hébraud, -P., Ashokkumar, -M., Hemar, -Y. 2016. Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*. 35, 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022>
- Bemiller, J, -N., Huber, K, -C. 2015. Physical modification of Food starch functionalities. *Annual Review of Food Science and Technology*. 6, 19-69. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015552>
- Castanha, -N., Santos, D, -N., Cunha, R, -L., Augusto, P, E, -D. 2018. Properties

- and possible applications of ozone-modified potato starch. *Food Research International*. 116, 1192-1201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.064>
- Czechowska-biskup, -R., Rokita, -B., Lotfy, -S., Ulanski, -P., Rosiak, J, -M. 2005. Degradation of chitosan and starch by 360-kHz ultrasound. *Carbohydrate Polymers*. 60(2), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.12.001>
- Debet, M, -R., Gidley, M, -J. 2007. Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? roles for amylose, protein, and lipid in granule "ghost" integrity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(12), 4752-4760. <https://doi.org/10.1021/jf070004o>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). 2018. Crops. Dilihat 7 Juni 2020. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>
- Herceg, I, -L., Jambrak, A, -R., Šubarić, -D., Brnčić, -M., Brnčić, S, -R., Badanjak, -M., Tripalo, -B., Ježek, -D., Novotni, -D., Herceg, -Z. 2010. Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. *Czech Journal of Food Sciences*. 28, 83-93. <https://doi.org/10.17221/50/2009-CJFS>
- Iheagrawa, M, -C. 2013. Isolation, modification and characterization of sweet potato (*Ipomea batatas L (lam)*) starch. *Journal of Food and Process Technology*. 4(1), 1-6 <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000198>
- Iida, -Y., Tuziuti, -T., Yasui, -K., Towata, -A., Kozuka, -T. 2008. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9(2), 140-146. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.029>
- Jambrak, A, -R., Herceg, -Z., Šubarić, -D., Babić, -J., Brnčić, -M., Brnčić, S, -R., Bosiljkov, -T., Cvek, -D., Tripalo, -B., Gelo, -J. 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 79(1), 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.051>
- Kaur, -M., Oberoi, D, P, -S., Sogi, D, -S., Gill, B, -S. 2011. Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of Food Science and Technology*. 48, 460-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0126-x>
- Kim, -C., Lee, -S., Yoo, -B. 2006. Dynamic rheology of rice starch-galactomannan mixtures in the aging process. *Starch/Stärke*. 58(1), 35-43. <https://doi.org/10.1002/star.200500408>
- Krishnakumar, -T., Sajeew, M, -S. 2018. Effect of ultrasound treatment on physicochemical and functional properties of cassava starch. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*. 7(10), 3122-3135. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.362>
- Liu, -P., Zhang, -B., Shen, -Q., Hu, -X., Li, -W. 2010. Preparation and structure analysis of noncrystalline granular starch preparation and structure analysis of noncrystalline granular starch. *International Journal of Food Engineering*. 6(4). 1-10 <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1900>
- Luo, -Z., Fu, -X., He, -X., Luo, -F., Gao, -Q., Yu, -S. 2008. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*. 60(11), 646-653. <https://doi.org/10.1002/star.200800014>
- Manchun, -S., Nunthanid, -J., Limmatvapirat, -S., Sriamornsak, -P. 2012. Effect of ultrasonic treatment on physical properties of tapioca starch. *Advanced Materials Research*. 506, 294-297. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.506.294>
- Mat, -B., Moorthy, S, -N., Mitchell, J, -R., Hill, S, -E., Linfoot, K, -J., Blanshard, J, M, -V. 1992. The

- effect of low levels antioxidants on the swelling and solubility of sassava starch. *Starch/Stärke*. 44, 471-475. <https://doi.org/10.1002/star.19920441206>
- Mousia, -Z., Farhat, I, -A., Pearson, -M., Chesters, M, -A., Mitchell, J, -R. 2001. FTIR microspectroscopy study of composition fluctuations in extruded amylopectin-gelatin blends. *Biopolymers*. 62(4), 208-218. <https://doi.org/10.1002/bip.1015>
- Nakorn, K, -N., Tongdang, -T., Sirivongpaisal, -P. 2009. Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*. 61, 101-108. <https://doi.org/10.1002/star.200800008>
- Noda, -T., Kottarachchi, N, -S., Tsuda, -S., Mori, -M., Hashimoto, -N., Yamauchi, -H. 2007. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydrate Polymers*. 68(4), 793-796. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.08.005>
- Paterson, L, -A., Leics, U, -K., Mat, D, -B., Sandra, -E., Mitchell, J, -R., John, M. -V. 1994. The effect of low levels of sulohite on the swelling and solubility of starches. *Starch/Stärke*. 46, 288-291. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.08.005>
- Patist, -A., Bates, -D., 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9(2), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.004>
- Sandhu, K, -S., Singh, -N. 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*. 101(4), 1499-1507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.060>
- Suryani, R. 2016. *Outlook Komoditas*
- Zhu, -F. 2015. Impact of ultrasound on *Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan-Ubi Jalar*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Sujka, -M., Jamroz, -J. 2013. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. *Food Hydrocolloids*. 31(2), 413-419. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.027>
- Takizawa, F, -F., Oliveira, -G., Konkel, F, -E., Demiate, I, -M. 2004. Characterization of tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 47(6), 921-931. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132004000600012>
- Ulfa, G, -M., Putri, W, D, -R., Fibrianto, -K., Prihatiningtyas, -R., Widjanarko, S, -B. 2020. The influence of temperature in swelling power, solubility, and water binding capacity of pregelatinised sweet potato starch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 475, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012036>
- Ulfa, G, -M., Putri, W, D, -R., Widjanarko, S, -B. 2019. The influence of sodium acetate anhydrous in swelling power, solubility, and water binding capacity of acetylated sweet potato starch. *AIP Conference Proceedings*. 2120(1), 1-7. <https://doi.org/10.1063/1.5115697>
- Wu, -H., Hulbert, G, -J., Mount, J, -R. 2000. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 1(3), 211-218. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5)
- Zheng, -J., Li, -Q., Hu, -A., Yang, -L., Lu, -J., Zhang, -X., Lin, -Q. 2013. Dual-frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. *Starch/Stärke*. 65(8), 621-627. <https://doi.org/10.1002/star.201200197>
- structure, physicochemical

- properties, modifications, and applications of starch. 43(1), 1-17. *Trends in Food Science & Technology* <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.008>
- Zuo, J, -Y., Knoerzer, -K., Mawson, -R., Kentish, -S., Ashokkumar, -M. 2009. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 16(4), 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.01.002>
- Zuo, Y, Y, -J., Hébraud, -P., Hemar, -Y., Ashokkumar, -M. 2012. Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. *Ultrasonics Sonochemistry* 19(3), 421-426. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.08.006>