
Sifat Fisikokimia Pati Tahan Cerna Hasil Hidrolisis Asam dan Heat Moisture Treatment pada Pati Maizena

Physicochemical Properties of Resistant Starch from Acid Hydrolysis and Heat Moisture Treatment of Corn Starch

Tuti Wukirsari, Endang Saepudin^{*)}, dan Ivanka Putri Hanafiah

Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Indonesia

^{*)} email korespondensi: endang.saefudin@sci.ui.ac.id

ABSTRACT

The increasing of diabetes prevalence both in Indonesia and in the world requires innovations in the food sector. In this study, modification of corn starch was carried out by acid hydrolysis (HA) and heat moisture treatment (HMT) with various combinations of HCl concentration and duration of HMT. Then the effect of HA and/or HMT modification on the physicochemical properties of corn starch was determined. The results showed that HA and/or HMT treatment reduced digestibility up to 56%, swelling power up to 10 times, and viscosity up to 2 times in modified starch. These data prove the rearrangement of the modified corn starch granule to become denser and more crystalline.

Keywords: Acid hydrolysis, Corn starch, Heat moisture treatment, Resistant starch

ABSTRAK

Prevalensi diabetes yang terus meningkat baik di Indonesia maupun di dunia memerlukan inovasi-inovasi di bidang pangan. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada pati maizena dengan hidrolisis asam (HA) dan heat moisture treatment (HMT) dengan berbagai kombinasi konsentrasi HCl dan lamanya HMT. Kemudian pengaruh modifikasi HA dan/atau HMT terhadap sifat fisikokimia pati maizena ditentukan. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan HA dan/atau HMT akan menurunkan daya cerna sampai 56%, swelling power sampai 10 kali, dan viskositas sampai 2 kali pada pati termodifikasi. Data-data tersebut membuktikan terjadinya perubahan struktur granula pati maizena termodifikasi menjadi lebih rapat dan kristalin.

Kata Kunci: Hidrolisis asam, *Heat moisture treatment*, Pati maizena, Pati tahan cerna.

PENDAHULUAN

Penyemaian dan pemindahan bibit. Jagung merupakan salah satu alternatif sumber karbohidrat pengganti beras. Jagung telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia baik dalam bentuk jagung utuh maupun tepung yang biasa dikenal dengan tepung maizena. Selain untuk pengental masakan, tepung maizena juga sekarang banyak digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan panganan. Dibandingkan tepung terigu, maizena tidak mengandung gluten sehingga aman untuk orang yang menderita alergi terhadap gluten.

Konsumsi makanan yang mengandung karbohidrat termasuk pati maizena secara berlebihan dan tidak terkontrol dapat memicu timbulnya penyakit diabetes. Menurut Kementerian Kesehatan RI (2019), hampir semua provinsi di Indonesia mengalami kenaikan prevalensi diabetes pada tahun 2013–2018. Berdasarkan hasil pemeriksaan gula darah, prevalensi diabetes di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 10.9%. International Diabetes Foundation menyebutkan prevalensi diabetes orang Indonesia dengan usia 20–79 tahun sebesar 10.7% pada tahun 2019, yaitu urutan ke-7 tertinggi di dunia (International Diabetes Foundation 2019). Hal ini perlu diwaspadai karena menurut WHO pada tahun 2019 penyakit diabetes masuk ke dalam 10 besar penyakit penyebab kematian. Oleh karena itu, inovasi-inovasi dalam bidang pangan sangat mendesak untuk dilakukan agar jumlah penderita diabetes dapat ditekan.

Pati tahan cerna atau yang biasa disebut *resistant starch* (RS) dapat menurunkan respons glikemik setelah makan sehingga sangat bermanfaat untuk penderita diabetes (Higgins 2004; Bello-Perez *et al.* 2021). Manfaat kesehatan lain dari pati tahan cerna juga telah banyak diteliti, yaitu sebagai prebiotik (Zaman dan Sarbini 2015), mencegah timbulnya kanker usus dan batu empedu, menghambat akumulasi lemak, serta meningkatkan absorpsi mineral (Sajilata *et al.* 2006). Selain itu, pada skala industri juga dilakukan modifikasi serupa dengan tujuan menghasilkan pati termodifikasi yang stabil secara termal (da Rosa Zavareze *et al.* 2010).

Oleh karena itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kandungan pati tahan cerna pada makanan.

Pati akan lebih tahan terhadap sistem pencernaan jika struktur granulanya mengalami penataan-ulang menjadi lebih kristalin. Struktur yang lebih kristalin akan lebih sulit tercerna oleh enzim pencernaan. Beberapa metode yang telah dilaporkan dapat meningkatkan kadar pati tahan cerna ialah manipulasi genetik, hidrolisis enzimatis, modifikasi kimia, dan perlakuan fisika (Neelam *et al.* 2012; Dupuis *et al.* 2014). Menurut Zhang dan Jin (2011), kadar pati tahan cerna pada pati maizena mencapai 59% setelah perlakuan hidrolisis parsial dengan enzim α -amilase dan pululanase. Bello-Perez *et al.* (2021) menyatakan pati tahan cerna dapat dihasilkan dari perlakuan fisik seperti cara ekstrusi tekanan tinggi, ultrasonikasi, dan hidrotermal seperti *heat moisture treatment* (HMT). Sementara perlakuan kimia dengan hidrolisis asam (HA) dilaporkan oleh Nagahata *et al.* (2013). Kadar pati tahan cerna mengalami peningkatan dari 40.5 menjadi 69.3% setelah hidrolisis pati maizena dengan HCl 1.5% pada suhu 50 °C selama 16 jam (Nagahata *et al.* 2013).

Hidrolisis asam dan HMT sudah banyak dilaporkan tetapi kombinasi keduanya masih jarang. Sun *et al.* (2015) pernah melakukan modifikasi ganda HA dan HMT pada pati maizena. Variasi konsentrasi HCl tertinggi yang digunakan ialah 0.1 M dengan waktu hidrolisis selama 24 jam. Modifikasi ganda HA-HMT yang dilakukan Xing *et al.* (2017) juga menggunakan HCl 0.1 M selama 24 jam untuk tahap hidrolisisnya. Baik Sun *et al.* (2015) dan Xing *et al.* (2017) tidak menentukan pengaruh perlakuan modifikasi ganda HA-HMT terhadap daya cernanya.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk lebih memahami pengaruh konsentrasi HCl dan lamanya HMT pada daya cerna pati maizena. Penelitian ini menggunakan konsentrasi HCl yang lebih tinggi (hingga 5%, setara dengan HCl 1.7 M) dengan waktu reaksi yang lebih singkat (3 jam). Selain itu, pengaruh modifikasi pati maizena terhadap sifat fisikokimia lain seperti kelarutan,

swelling power, dan viskositas juga ditentukan di penelitian ini.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini ialah alat-alat kaca yang lazim di laboratorium, neraca, oven, mikroskop cahaya, dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu, UV-2450).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah tepung jagung Maizenaku®, HCl, NaOH, akuades, enzim α -amilase, dan asam dinitrosalisilat (DNS).

Prosedur Penelitian

Hidrolisis asam

Sebanyak 10 g maizena ditambahkan 15 mL HCl dengan ragam konsentrasi 1, 3, dan 5%. Setelah itu suspensi dipanaskan pada suhu 50 °C selama 3 jam. Campuran lalu dinetralkan dengan NaOH 1 M, dicuci berulang dengan akuades, dan dikeringkan pada suhu 60°C. Maizena yang telah dimodifikasi kemudian dihaluskan dan diayak agar ukurannya seragam.

Heat moisture treatment (HMT)

Kadar air maizena ditentukan sebelum perlakuan *heat moisture treatment* (HMT). Kemudian kadar air maizena dinaikkan menjadi 30% dengan penambahan sejumlah akuades. Maizena lalu ditempatkan di wadah kaca tertutup dan didiamkan di suhu ruang selama semalam. Setelah itu maizena dipanaskan dalam oven dengan suhu 120 °C. Ragam waktu pemanasan yang digunakan ialah 2, 4, dan 6 jam. Maizena kemudian dihaluskan dan diayak.

Daftar perlakuan dan pengkodean sampel

Modifikasi dilakukan dengan perlakuan tunggal dan ganda. Perlakuan ganda mengombinasikan hidrolisis asam dan HMT. Tabel 1 merangkum daftar modifikasi perlakuan yang telah dilakukan pada tepung maizena beserta pengkodeannya.

Tabel 1. Daftar perlakuan pada modifikasi tepung maizena beserta kode sampelnya

No	Kode Sampel	Perlakuan
1	Kontrol	Tanpa perlakuan
2	HA3	HCl 3%

No	Kode Sampel	Perlakuan
3	HA1-HMT	HCl 1% dilanjutkan dengan HMT selama 4 jam
4	HA3-HMT	HCl 3% dilanjutkan dengan HMT selama 4 jam
5	HA5-HMT	HCl 5% dilanjutkan dengan HMT selama 4 jam
6	HMT4	HMT selama 4 jam
7	HMT2-HA	HMT selama 2 jam dilanjutkan dengan HCl 3%
8	HMT4-HA	HMT selama 4 jam dilanjutkan dengan HCl 3%
9	HMT6-HA	HMT selama 6 jam dilanjutkan dengan HCl 3%

Swelling power dan kelarutan

Sebanyak 0.1 g sampel maizena (A) dalam 10 mL akuades disimpan dalam penangas air bersuhu 85 °C selama 30 menit. Setelah itu suspensi maizena didinginkan dan disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Endapan dan supernatan dipisahkan. Supernatan dikeringkan dan residunya ditimbang sebagai bagian maizena yang larut (B). Sementara endapan ditimbang sebagai maizena tak larut yang mengikat air (C).

$$\text{Kelarutan maizena} = \frac{B}{A} \times 100\%$$

$$\text{Swelling power} = \frac{C}{A-B}$$

Analisis viskositas dengan viskometer Brookfield

Sebanyak 1 g sampel maizena dalam 100 mL akuades dipanaskan di penangas air mendidih selama 20 menit sambil diaduk. Larutan kemudian didinginkan sampai 50 °C dan diukur viskositasnya menggunakan viskometer Brookfield dengan *spindle* nomor 1 dan kecepatan 30 rpm.

Uji daya cerna pati

Sebanyak 1 g sampel maizena ditambahkan 10 mL akuades dan diinkubasi pada suhu 90 °C selama 30 menit. Setelah itu ke dalam campuran tersebut ditambahkan 1 mL α -amilase dan 1 mL HCl encer dengan pH 4. Campuran lalu diinkubasi kembali pada suhu 90 °C selama 30 menit. Setelah itu, sebanyak 1 mL alikuot diambil, ditambahkan 2 mL pereaksi DNS (asam 3,5-dinitrosalisilat), dan dipanaskan di penangas air mendidih selama 10 menit. Absorbans larutan diukur pada panjang

gelombang 520 nm. Penurunan daya cerna pati kemudian dihitung dengan menghitung selisih absorbans pati kontrol-pati termodifikasi dan dibandingkan dengan absorbans pati kontrol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini telah memodifikasi pati pada tepung maizena dengan cara kimia, fisika, serta kombinasi dari keduanya. Pati pada tepung maizena telah dimodifikasi dengan 8 perlakuan berbeda (**Tabel 1**). Modifikasi kimia yang telah dilakukan ialah hidrolisis asam dengan tiga konsentrasi HCl yang berbeda dan dibantu dengan pemanasan. Kondisi asam dapat memutus secara acak ikatan glikosidik baik ikatan $\alpha(1\rightarrow4)$ maupun $\alpha(1\rightarrow6)$. Pemutusan ikatan glikosidik $\alpha(1\rightarrow4)$ akan menghasilkan rantai amilosa dan/atau amilopektin yang lebih pendek. Sementara pemutusan ikatan glikosidik $\alpha(1\rightarrow6)$ dapat menghilangkan sejumlah titik percabangan pada amilopektin. Hilangnya titik percabangan menyebabkan terjadinya agregasi dan penataan-ulang struktur heliks ganda amilopektin sehingga terjadi perubahan kristalinitas pati (Bello-Peres 2021).

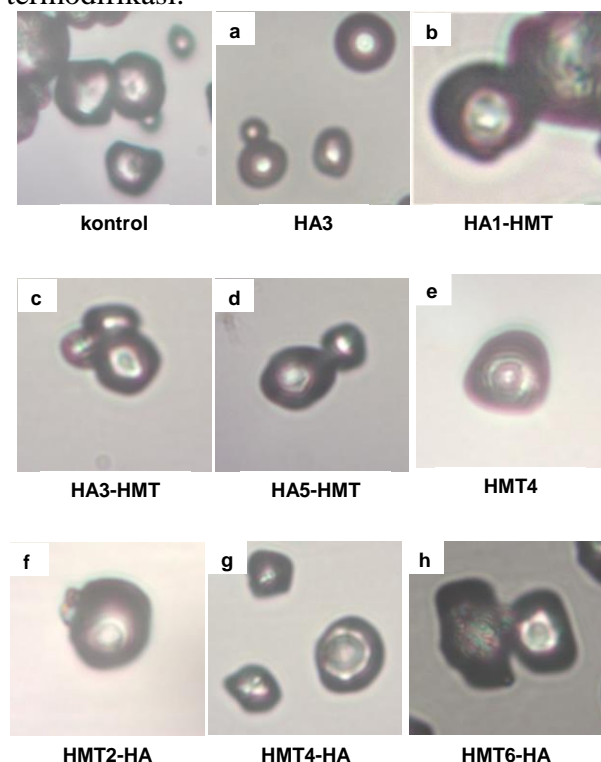
Modifikasi fisika yang telah dilakukan pada penelitian ini ialah *heat moisture treatment* (HMT) yang divariasikan lama waktu pemanasannya. Perlakuan HMT dapat menyebabkan terjadinya penataan-ulang struktur pati melalui proses gelatinisasi dan retrogradasi.

Konsentrasi HCl saat hidrolisis, lamanya pemanasan saat HMT, serta urutan perlakuan hidrolisis-HMT ditentukan pengaruhnya terhadap sifat fisikokimia pati pada maizena. Sifat fisikokimia yang menjadi objek pengamatan ialah morfologi granula pati, kelarutan pati dan *swelling power*, viskositas, serta daya cerna pati.

Morfologi Granula Pati

Penataan-ulang struktur pada granula pati termodifikasi dapat diamati secara sederhana dengan melihat morfologinya di bawah mikroskop cahaya. Gambar 1 menunjukkan bahwa granula pati maizena berbentuk bulat tak beraturan dengan ukuran yang tidak seragam baik untuk pati yang tidak dimodifikasi (kontrol) maupun yang telah dimodifikasi. Hal

ini senada dengan hasil pengamatan granula pati maizena dengan SEM oleh Zhang dan Jin (2011) serta Dome *et al.* (2020), yaitu granula pati maizena memiliki bentuk polihedral dengan ukuran yang tidak seragam. Secara umum, granula pati termodifikasi memiliki kemampuan untuk meneruskan cahaya dibandingkan granula pati tanpa modifikasi Gambar 1. Cahaya yang diteruskan tersebut terlihat sebagai bulatan putih terang di bagian tengah granula pati termodifikasi. Selain itu, di sekitar bulatan putih terang tersebut terlihat ada lapisan-lapisan baru yang terbentuk. Hal tersebut membuktikan terjadinya penataan-ulang struktur kristalin pada granula pati termodifikasi.



Gambar 1. Morfologi pati maizena dengan perlakuan berbagai konsentrasi asam (%) dan lamanya waktu HMT (jam) di bawah mikroskop cahaya dengan perbesaran 100 \times . (Keterangan gambar: HA = hidrolisis asam, HMT = *heat moisture treatment*)

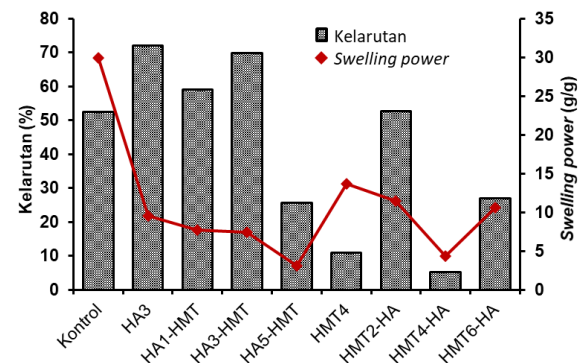
Kelarutan dan *Swelling Power*

Pati maizena sebelum dan sesudah modifikasi memiliki kelarutan yang berbeda Gambar 2. Data persen kelarutan ditunjukkan oleh diagram batang dengan sumbu y terletak di sebelah kiri pada Gambar 2. Secara umum, modifikasi tunggal dengan perlakuan asam atau modifikasi ganda yang diawali dengan

hidrolisis asam (HA3, HA1-HMT, HA3-HMT, dan HA5-HMT) memiliki jumlah pati terlarut yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan asam menghidrolisis ikatan glikosidik pada amilosa dan amilopektin sehingga menghasilkan karbohidrat berbobot molekul rendah yang larut air (Sun *et al.* 2015). Hidrolisis asam akan lebih mudah terjadi pada bagian amorf dari granula pati (Mun dan Shin, 2006). Di sisi lain modifikasi yang didahului dengan perlakuan HMT memiliki persentase pati larut air yang cenderung lebih rendah dibandingkan kontrol. Proses gelatinisasi dan retrogradasi pada perlakuan HMT menyebabkan terbentuknya struktur kristalin rantai amilosa di bagian luar granula. Struktur kristalin tersebut akan menghalangi penetrasi asam di tahap modifikasi dengan perlakuan asam. Akibatnya hidrolisis asam terhalangi dan hanya sedikit karbohidrat larut air yang terbentuk. Penurunan kelarutan dan *swelling power* akibat perlakuan HMT juga teramati pada pati beras (Rosa Zavareze *et al.* 2010).

Diagram garis dengan sumbu y di sebelah kanan pada Gambar 2 memperlihatkan data *swelling power* pati maizena sebelum dan sesudah modifikasi. Pada suhu 85 °C, pati maizena termodifikasi di penelitian ini mampu menurunkan *swelling power* hingga 10 kali (HA5-HMT) dibandingkan kontrol. Sementara pada suhu yang sama, Sun *et al.* (2015) melaporkan penurunan *swelling power* hingga 2 kali pada pati maizena termodifikasi ganda dengan dihidrolisis asam pada pH 4 dan HMT (HMT dilakukan dengan pemanasan pada 100 °C selama 8 jam). Rendahnya nilai *swelling power* memperlihatkan turunnya kemampuan pati termodifikasi dalam memerangkap air atau terhidrasi (Xing *et al.* 2017). Penurunan tersebut dapat disebabkan oleh penataan struktur sehingga beberapa rongga kosong pada struktur granula pati hilang dan membentuk struktur yang lebih kristalin. Berdasarkan nilai *swelling power*-nya, jumlah rongga kosong pada pati maizena termodifikasi tunggal maupun ganda yang diawali dengan perlakuan asam (HA3, HA1-HMT, HA3-HMT, dan HA5-HMT) nampaknya lebih sedikit dibandingkan dengan yang termodifikasi tunggal maupun ganda yang diawali dengan HMT.

Berkurangnya percabangan pada rantai amilopektin akibat hidrolisis asam pada ikatan glikosidik $\alpha(1\rightarrow6)$ dapat meningkatkan rasio amilosa/ amilopektin. Magallanes-Cruz *et al.* (2017) menyampaikan bahwa kandungan amilosa yang tinggi akan meningkatkan derajat retrogradasi sehingga hanya sedikit menyerap air.



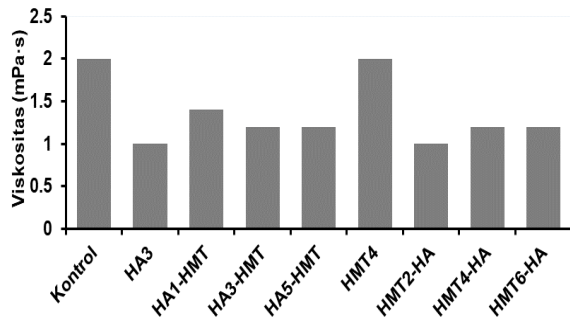
Gambar 2. Kelarutan dan *swelling power* pati maizena dengan perlakuan berbagai konsentrasi asam (%) dan lamanya waktu HMT (jam). (Keterangan gambar: HA = hidrolisis asam, HMT = heat moisture treatment)

Perlakuan dengan asam dan HMT memiliki efek yang sinergis terhadap penurunan *swelling power* pada pati maizena termodifikasi. Gambar 2 menggambarkan *swelling power* pada pati maizena termodifikasi ganda lebih rendah dibandingkan yang termodifikasi tunggal. Xing *et al.* (2017) juga melaporkan bahwa pati termodifikasi HA-HMT memiliki *swelling power* yang lebih rendah dibandingkan HA. Secara umum kenaikan konsentrasi asam dan lamanya waktu HMT meningkatkan penurunan nilai *swelling power*-nya. Namun perlakuan dengan HMT yang terlalu lama, yaitu enam jam pada suhu 120 °C (HMT6-HA) dapat menyebabkan rusaknya granula pati sehingga molekul air lebih mudah berinteraksi dengan amilosa atau amilopektin pada granula pati maizena. Akibatnya HMT6-HA memiliki *swelling power* lebih tinggi dibandingkan HMT4-HA namun masih lebih rendah dibandingkan kontrol.

Viskositas

Hampir semua pati termodifikasi memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan kontrol Gambar 3. Dibandingkan pati termodifikasi lain, pati HMT4 dengan nilai *swelling power* yang lebih tinggi menunjukkan

viskositas yang tinggi pula. Hal ini sesuai dengan Sun *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa viskositas granula pati berbanding lurus dengan kemampuan *swelling*-nya.



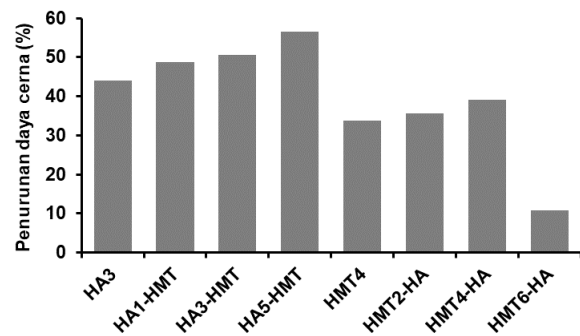
Gambar 3. Viskositas larutan pati maizena dengan perlakuan berbagai konsentrasi asam (%) dan lamanya waktu HMT (jam). (Keterangan gambar: HA = hidrolisis asam, HMT = *heat moisture treatment*)

Daya Cerna Pati

Daya cerna pati maizena ditentukan secara *in vitro* dengan menggunakan α -amilase. α -Amilase yang digunakan pada penelitian ini tahan pada suhu tinggi, berbeda dengan enzim α -amilase yang terdapat dalam sistem pencernaan manusia. Namun kedua enzim α -amilase tersebut memiliki kemampuan yang sama dalam menghidrolisis pati maizena menjadi gula pereduksi. Gula pereduksi yang dihasilkan dari proses hidrolisis pati kemudian direaksikan dengan asam dinitrosalisilat (DNS) dan menghasilkan DNS tereduksi yang berwarna merah kecokelatan.

Gambar 4 menunjukkan bahwa semua modifikasi yang telah dilakukan di penelitian ini telah berhasil menghasilkan pati maizena yang lebih tahan cerna. Persen penurunan daya cerna pati maizena termodifikasi bervariasi dari 10 sampai 56% (Gambar 4). Sejalan dengan data *swelling power*-nya, modifikasi tunggal dan ganda yang diawali dengan HA (HA3, HA1-HMT, HA3-HMT, dan HA5-HMT) memiliki daya cerna yang lebih rendah dibandingkan yang diawali dengan HMT. Daya cerna yang lebih rendah ditandai dengan nilai penurunan daya cerna yang lebih besar (Gambar 4). Zhang dan Jin (2011) menyatakan bahwa hidrolisis pada ikatan glikosidik dapat meningkatkan rasio amilosa/ amilopektin. Selain itu, rantai amilosa yang lebih pendek lebih mudah berpindah tempat dan

meningkatkan kristalinitas struktur granul. Peningkatan kristalinitas inilah yang kemudian dapat menurunkan nilai *swelling power* dan daya cernanya. Sementara pada pati yang modifikasinya diawali dengan HMT, peningkatan rasio amilosa/amilopektin tidak dapat berlangsung maksimal karena tahap hidrolisis asam terhalang oleh bagian kristalin di luar granula pati. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hoover dan Manuel (1996).



Gambar 4. Persentase penurunan daya cerna pati maizena dengan perlakuan berbagai konsentrasi asam (%) dan lamanya waktu HMT (jam). (Keterangan gambar: HA = hidrolisis asam, HMT = *heat moisture treatment*)

Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan para peneliti lain sebelumnya. Bello-Peres *et al.* (2021) menyampaikan bahwa perlakuan HMT pada pati dapat meningkatkan kandungan SDS (*slowly digestible starch*) dan RS (*resistant starch*). Perlakuan dengan HCl 0.1 M dapat meningkatkan jumlah RS pada pati jagung sebesar 0.2% setelah 6 jam dan meningkat sampai 3.2% ketika dilakukan selama 30 hari (Mun dan Shin 2006).

KESIMPULAN

Sebanyak delapan perlakuan dengan kombinasi konsentrasi HCl untuk hidrolisis asam (HA) dan lamanya waktu *heat moisture treatment* (HMT) pada penelitian ini telah berhasil menghasilkan pati yang lebih tahan cerna bahkan penurunan daya cernanya ada yang mencapai 56%. Selain itu, pati termodifikasi juga memperlihatkan penurunan *swelling power* hingga 10 kali dan viskositas hingga 2 kali. Pati dengan modifikasi tunggal dan ganda yang diawali dengan HA memiliki kelarutan yang cenderung tinggi namun dengan *swelling power*, viskositas, dan daya cerna yang rendah.

Perlakuan yang diawali HA dapat lebih maksimal dalam menghidrolisis ikatan glikosidik sehingga menghasilkan karbohidrat berbobot molekul rendah yang larut air dan meningkatkan rasio amilosa/amilopektin. Kadar amilosa yang tinggi penting untuk pembentukan struktur kristalin baru pada granula pati termodifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini secara finansial dibiayai oleh Publikasi Terindeks International Universitas Indonesia (PUTI UI) 2020 dengan kontrak No : PENG-1/UN2.RST/PPM.00.00/ 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Bello-Perez L.A., Flores-Silva P.C., Sifuentes-Nieves I., Agama-Acevedo E. (2021). Controlling starch digestibility and glycaemic response in maize-based foods. *Journal of Cereal Science* 99, 103222.
- da Rosa Zavareze E., Storck C.R., de Castro L.A.S., Schirmer M.A., Dias A.R.G. (2010). Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry* 121, 358-365.
- Dome K., Podgorbunskikh E., Bychkov A., Lomovsky O. (2020). Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. *Polymers* 12, 641.
- Dupuis J.H., Liu Q., Yada R.Y. (2014). Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 1219-1234.
- Higgins J.A. (2004). Resistant starch: Metabolic effects and potential health benefits. *Journal of AOAC International* 87:3, 761-768.
- Hoover R., Manuel H. (1996). The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylo maize V starches. *Journal of Cereal Science* 23, 153-162.
- International Diabetes Foundation. (2019). IDF Diabetes Atlas. Edisi 9. International Diabetes Foundation. BE
- Kementerian Kesehatan RI. (2019). Laporan Nasional Riskesdas 2018. Balai Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. ID.
- Magallanes-Cruz P.A., Flores-Silva P.C., Bello-Perez L.A. (2017). Starch structure influences its digestibility: A review. *Journal of Food Science* 82:.. Nr. 9.
- Mun S-H., Shin M. (2006). Mild hydrolysis of resistant starch from maize. *Food Chemistry* 96, 115-121.
- Nagahata Y., Kobayashi I., Goto M., Nakaura Y., Inouchi N. (2013). The formation of resistant starch during acid hydrolysis of high-amylose corn starch. *Journal of Applied Glycoscience* 60, 123-130.
- Neelam K., Vijay S., Lalit A. (2012). Various techniques for the modification of starch and the application of its derivatives. *International Research Journal of Pharmacy* 3:5, 25-31.
- Sajilata M.G., Singhal R.S., Kulkarni P.R. (2006). Resistant starch - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 5.
- Sun Q., Zhu X., Si F., Xiong L. (2015). Effect of acid hydrolysis combined with heat moisture treatment on structure and physicochemical properties of corn starch. *J Food Sci Technol* 51:Jan, 375-382.
- Xing J-J., Liu Y., Li D., Wang L-J., Adhikari B. (2017). Heat-moisture treatment and acid hydrolysis of corn starch in different sequences LWT Food Science and Technology 79, 11-20.
- Zaman S.A., Sarbini A.R. (2015). The potential of resistant starch as a prebiotic. *Critical Reviews in Biotechnology* Early Online, 1-7.
- Zhang H., Jin Z. (2011). Preparation of product rich in resistant starch from maize starch by an enzymatic method. *Carbohydrate Polymers* 86, 1610-1614.