

MODIFIKASI PATI BERAS ALAMI DAN PATI HASIL PEMUTUSAN RANTAI CABANG DENGAN PERLAKUAN FISIK / KIMIA UNTUK MENINGKATKAN KADAR PATI RESISTEN

Native and Debranched Rice Starch Modification Using Physical or Chemical Treatment to Increase the Level of Resistant Starch

Siti Narsito Wulan¹⁾, Tri Dewanti Widyaningsih¹⁾, dan Dian Kasserri²⁾

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
Jl. Veteran, Malang. Telp. (0341) 580106, 564398
Fax. (0341) 568917
Email: wulanthp@yahoo.com

ABSTRACT

Resistant starch, dietary fibres compound, is carbohydrate that escape from human digestion system, therefore it has potential health benefits. A study on resistance starch of the native and debranched starches, obtained from rice, which were further treated with physical or chemical treatment has been conducted. The extracted rice starch was first enzymatic debranched by means of bacterial pullulanase. The debranched starch was then treated further either by autoclaving, extrusion cooking or chemically cross-linking. The native starch was also undergone similar physical or chemical treatments.

The results showed that the treated debranched-starch contained a higher level of resistant starch than that of the native starch treated with the similar treatment. The cross linked debranched-starch was the best one and it contained 8.45% moisture, 3.19% ash, 85.44% starch and 3.67% resistant starch. The respective initial gelatinization temperature, gelatinization temperature and maximum viscosity of the modified starch were 79.3°C, 89.6°C and 1478 AU.

Key word: resistant starch, enzymatic debranching, physical or chemical modification

PENDAHULUAN

Pati resisten (RS) merupakan karbohidrat tidak tercerna dalam sistem pencernaan manusia sehingga berpengaruh positif bagi kesehatan tubuh. Pati resisten mempunyai beberapa kelebihan dibanding serat pangan yaitu tidak mempunyai kecenderungan mengikat mineral, tidak menyebabkan flatulensi serta memberikan tekstur dan kenampakan yang lebih baik dibandingkan serat pangan. Salah satu komoditas yang potensial dikembangkan menjadi pati resisten adalah beras.

Pati resisten dapat diperoleh secara alami dalam biji-bijian yang utuh (RS-1) serta granula pati alami pada kentang dan pisang mentah (RS-2), tetapi proses pemanasan dapat merusak struktur

resistennya. Pada penelitian ini diharapkan terbentuk pati resisten hasil retrogradasi (RS-3) dan pengikatan silang (RS-4) yang lebih stabil terhadap pemanasan (Haralampu, 2000). Pati resisten paling besar terbentuk dari retrogradasi amilosa, meskipun amilopektin juga dapat teretrogradasi yang memerlukan waktu lama (Huang *and* Rooney, 2001).

Pemutusan rantai cabang amilopektin diharapkan dapat menyediakan rantai terluar dengan DP yang lebih besar (25-45 residu glukosa) sehingga rantai pati lebih available untuk teretrogradasi apabila diberi perlakuan fisik panas lanjutan atau pengikatan silang. Pemutusan rantai cabang dilakukan dengan pemutusan ikatan cabang enzim pullulanase. Perlakuan fisik panas yang dipilih adalah autoklaving dan

ekstrusi, sedangkan pengikatan silang dilakukan menggunakan reagen STPP/STMP.

(Englyst *et al.*, 1992), sifat amilografi (Brabender Amylograph), dan rendemen.

BAHAN DAN METODE

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah beras ("*milled rice*") varietas IR-64 yang diperoleh dari pedagang pengepul di Kediri. Enzim untuk perlakuan enzimatis yaitu pullulanase dari *Bacillus acidophyllus* yang diperoleh dari Sigma Chemical Co. USA. Sodium trimetaphosphate (STMP) dan Sodium tripolyphosphate (STPP) untuk perlakuan pengikatan silang.

Perlakuan yang digunakan meliputi ultrasentrifusa (Beckman), inkubator, ekstruder, spektrofotometer, pH-meter, autoklaf, dan peralatan gelas.

Tahapan penelitian meliputi ekstraksi pati dari beras dan proses modifikasi. Modifikasi dilakukan pertama kali menggunakan enzim pemutus ikatan cabang dan tanpa pemutusan ikatan cabang (pati alami). Kedua jenis pati tersebut kemudian diberi perlakuan lebih lanjut melalui proses autoklaving, ekstrusi, dan pengikatan silang.

Pengamatan dan analisis dilakukan pada bahan baku dan pati modifikasi meliputi analisa kadar air, kadar pati, kadar abu (AOAC, 1970 *dalam* Sudarmadji *dkk*, 1997), kadar amilosa (IRRI, 1971 *dalam* Apriyantono, 1989), kadar pati resisten

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Rerata kadar air pati modifikasi berkisar antara 5,20%-8,93%. Pengaruh jenis modifikasi terhadap kadar air pati modifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Proses pemutusan ikatan cabang (Tabel 1) yang dikombinasikan dengan perlakuan autoklaving, ekstrusi dan pengikatan silang cenderung menurunkan kadar air, sedangkan kadar air tertinggi terdapat pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang. Kadar air yang tinggi pada pati ikatan silang disebabkan karena gugus fosfat yang terpenetrasi ke dalam granula pati mempunyai sifat ionik sehingga mampu mengikat air (Armeniaderis *and* Baer, 1997 *dalam* Chung *et al.*, 2004).

Pati pemutusan ikatan cabang yang dimodifikasi dengan autoklaving mempunyai kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan pati alaminya. Hal ini diduga erat hubungannya dengan peningkatan kadar amilosa. Pati dengan kadar amilosa yang tinggi cenderung terjadi interaksi antar rantai molekul polimer yang kuat atau terbentuk ikatan silang sehingga menghalangi masuknya molekul air (Garcia *et al.*, 1999 *dalam* Cahyana dan Haryanto, 2006).

Tabel 1. Rerata Kadar Air Pati Modifikasi

Perlakuan	Kadar air (%)	Nilai DMRT
Pati alami- autoklaving	8.40 b	0.603-0.635
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	5.07 a	
Pati alami- ekstrusi	8.71 b	
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	5.20 a	
Pati alami-pengikatan silang	8.93 b	
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	8.45 b	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Kadar air pati ekstrusi yang diperoleh lebih rendah dari perlakuan kimiawi. Menurut Riaz (2001), dilaporkan bahwa ekstrusi merupakan suatu proses dimana bahan pangan dipaksa untuk melalui beberapa perlakuan sekaligus yaitu pencampuran, pemanasan dan pemotongan melalui suatu “die” sehingga menghasilkan produk akhir yang mengembang dan kering (“puff-dry”). Suhu pemasakan ekstrusi sangat tinggi mencapai 180–190°C. Dengan kondisi demikian, selama proses ekstrusi terjadi proses penguapan air yang tinggi sehingga produk yang dihasilkan mempunyai kadar air yang rendah.

Kadar Abu

Rerata kadar abu pati modifikasi berkisar antara 0,26%–3,19%. Tabel 2 menunjukkan pengaruh jenis pati dan jenis modifikasi fisik/kimia terhadap kadar abu pati modifikasi.

Pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan perlakuan autoklaving dan ekstrusi (Tabel 2) mengalami penurunan kadar abu dibandingkan dengan pati alaminya. Pada proses pemutusan ikatan cabang, pati melalui beberapa kali proses pencucian, hal ini menyebabkan pati mengalami pemurnian karena pengotor–pengotor yang masih terikat pada pati ikut tercuci sehingga kadar abu turun. Disamping itu pada perlakuan autoklaving dan ekstrusi tidak ada penggunaan reagen kimia, sehingga tidak ada peningkatan kadar abu.

Pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang kadar abu justru meningkat dan

menghasilkan kadar abu yang paling tinggi. Peningkatan kadar abu diduga disebabkan adanya penggunaan reagen STMP/STPP. Granula pati dilaporkan mempunyai pori–pori di permukaan dan rongga internal pada hilum, diantara keduanya terdapat “channel”/saluran yang menghubungkan (Huber and Be Miller, 2000). Kondisi ini memberikan akses terbuka ke bagian dalam granula, sehingga memfasilitasi penetrasi reagen kimia STMP/STPP. Semakin banyak gugus fosfat yang terikat semakin meningkat kadar abu karena fosfat merupakan komponen penyusun abu. Pati pemutusan ikatan cabang banyak menghasilkan gugus hidroksil bebas pada rantai patinya akibat adanya pemutusan rantai cabang amilopektin. Dengan demikian lebih banyak gugus fosfat yang dapat berikatan dengan gugus hidroksil bebas pada rantai pati (Rodriquez *et al.*, 1996).

Kadar Pati

Kadar pati pada pati modifikasi berkisar antara 68,18%–86,67% . Pengaruh jenis modifikasi terhadap kadar pati modifikasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Pati tertinggi terdapat pada pati alami yang diautoklaving. Pada perlakuan autoklaving terjadi retrogradasi pati akibat proses pemanasan yang diikuti proses pendinginan (Sajilata *et al.*, 2006). Marsono (1993) dalam Haryadi (2006) menyatakan bahwa retrogradasi dapat mengubah struktur pati yang mengarah ke pembentukan struktur kristalin baru sehingga pati tidak mudah terlarut.

Tabel 2. Rerata Kadar Abu Pati Modifikasi

Perlakuan	Kadar Abu (%)	Nilai DMRT
Pati alami- autoklaving	1.06 d	0.135–0.142
Pati pemutusan ikatan cabang–autoklaving	0.42 b	
Pati alami- ekstrusi	0.87 c	
Pati pemutusan ikatan cabang–ekstrusi	0.26 a	
Pati alami–pengikatan silang	2.42 e	
Pati pemutusan ikatan cabang–pengikatan silang	3.19 f	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Tabel 3. Rerata Kadar Pati Pada Pati Modifikasi

Perlakuan	Kadar Pati (%)	Nilai DMRT
Pati alami- autoklaving	86.67 d	2.762-2.906
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	80.38 c	
Pati alami- ekstrusi	71.93 b	
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	68.18 a	
Pati alami-pengikatan silang	81.81 c	
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	85.44 d	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Tabel 4. Rerata Kadar Amilosa Pati Modifikasi

Perlakuan	Kadar Amilosa (%)	Nilai DMRT
Pati alami- autoklaving	20.97 b	0.621-0.654
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	24.91 d	
Pati alami- ekstrusi	20.65 a	
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	24.77 c	
Pati alami-pengikatan silang	-	
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	-	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Kombinasi pati pemutusan ikatan cabang dengan pengikatan silang menghasilkan kadar pati justru lebih tinggi dibandingkan pati alaminya. Hal ini karena gugus fosfat yang terpenetrasi ke dalam granula membentuk ikatan kovalen dengan molekul pati menghasilkan molekul yang lebih besar (Shelton *and* Lee, 2000) sehingga meningkatkan berat molekul pati secara keseluruhan. Di samping itu pengikatan silang juga dapat memperkuat struktur granula pati (Woo *and* Seib, 2002) sehingga kehilangan pati dapat dihambat pada saat pencucian.

Pada pati yang dimodifikasi dengan perlakuan ekstrusi, diperoleh kadar pati paling rendah dibandingkan dengan perlakuan autoklaving dan pengikatan silang. Hal ini diduga karena terjadi kerusakan pati selama proses ekstrusi berlangsung. Della Valle *et al.* (1989) *dalam* Unlu *and* Faller (1998) menyatakan bahwa degradasi amilosa dan amilopektin terjadi selama proses ekstrusi pati. Degradasi ini terjadi akibat pemecahan rantai amilosa dan amilopektin akibat adanya tekanan di dalam ekstruder. Hal ini menyebabkan penurunan kadar pati.

Kadar Amilosa

Kadar amilosa pati hasil modifikasi berkisar antara 20,65%-24,91%. Pengaruh jenis modifikasi terhadap kadar amilosa pati modifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada modifikasi pati dengan pengikatan silang, kadar amilosa tidak diketahui karena amilosa yang ada tidak tertera pada saat dianalisa. Hal ini diduga karena adanya penggunaan reagen STPP/STMP. Pada prosedur analisa amilosa, peneraan rantai amilosa didasarkan pada kemampuan amilosa untuk memerangkap molekul iodine, sehingga menghasilkan warna biru. Akan tetapi, penggunaan STPP/STMP kemungkinan menyebabkan struktur heliks amilosa terganggu yang berakibat pada penghambatan pembentukan iodine dengan struktur heliks amilosa.

Peningkatan kadar amilosa pada pati yang telah mengalami pemutusan ikatan cabang diduga karena pada saat perlakuan pemutusan ikatan cabang enzim pullulanase berperan dalam pemotongan rantai cabang amilopektin sehingga jumlah amilosa cenderung meningkat. Laga (2006) melaporkan bahwa peningkatan jumlah amilosa terjadi akibat putusannya rantai

cabang amilopektin pada ikatan α 1-6 glikosida. Secara otomatis jumlah rantai cabang amilopektin akan berkurang dan meningkatkan jumlah rantai lurus amilosa sebagai hasil pemutusan ikatan cabang amilopektin.

Pada modifikasi pati dengan perlakuan ekstrusi didapatkan kadar amilosa yang lebih rendah dari kadar amilosa dari proses autoklaving. Hal ini diduga disebabkan oleh rusaknya molekul amilosa selama pemasakan ekstrusi berlangsung. Hal ini sesuai dengan pernyataan Della Valle *et al.* (1989) *dalam* Unlu *and* Faller (1998) yang menyatakan bahwa degradasi amilosa dan amilopektin terjadi selama proses ekstrusi pati. Degradasi ini terjadi akibat pemecahan rantai amilosa dan amilopektin akibat adanya tekanan di dalam ekstruder.

Kadar Pati Resisten

Kadar pati resisten hasil modifikasi berkisar antara 2,61%-3,67%. Pengaruh jenis modifikasi terhadap kadar pati resisten (Tabel 5) menunjukkan bahwa pada pati pemutusan ikatan cabang, kadar pati resisten lebih tinggi dibandingkan pati alami. Hal ini karena proses pemutusan ikatan cabang meningkatkan kadar amilosa, sehingga pati resisten yang terbentuk dari kristalisasi amilosa juga lebih tinggi. Eerlingen *et al.* (1993) melaporkan bahwa pembentukan pati resisten dalam gel pati berasal dari proses kristalisasi amilosa. Asp *and* Bjorck (1992) *dalam* Marsono (1998) juga menyatakan makin tinggi kadar amilosa pati makin tinggi pula kadar pati resistennya. Granula pati yang kaya

amilosa mempunyai kemampuan mengkristal yang lebih besar disebabkan intensifnya ikatan hidrogen. Akibatnya pati tidak dapat mengembang/tergelatinisasi sempurna pada waktu pemasakan sehingga tercerna lambat (Panlasigui *et al.*, 1991 *dalam* Marsono, 1998).

Kadar pati resisten tertinggi terdapat pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang. Diduga ikatan silang akan menghalangi masuknya enzim amilase melalui saluran berpori yang menembus bagian dalam granula pati serealialia (Huber *and* Be Miller, 2000). Semakin banyak residu fosfat yang membentuk ikatan silang, kadar pati resisten semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh kadar fosfat pada pati pemutusan ikatan cabang dengan pengikatan silang (0,26%) yang lebih tinggi daripada kadar fosfat pada pati alami dengan pengikatan silang (0,22%) menghasilkan pati resisten yang lebih tinggi pula.

Pati resisten yang terbentuk pada modifikasi pati, akibat proses autoklaving diikuti pengeringan sehingga terjadi retrogradasi pati. Pada saat proses pendinginan atau pengeringan akan terjadi peristiwa rekristalisasi (Sajilata *et al.*, 2006). Wu *and* Sarko (1978) *dalam* Sajilata *et al.* (2006) mengemukakan bahwa selama pendinginan, rantai polimer amilosa yang terlarut karena gelatinisasi akan mengalami reasosiasi kembali membentuk struktur heliks ganda yang distabilkan oleh ikatan hidrogen mengakibatkan pati sulit dicerna oleh enzim amilase.

Tabel 5. Rerata Kadar Pati Resisten (RS) Pada Pati Modifikasi

Perlakuan	Kadar RS (%)	Nilai DMRT
Pati alami- autoklaving	3.48 c	0.222-0.2336
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	3.66 c	
Pati alami- ekstrusi	2.96 b	
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	3.43 c	
Pati alami-pengikatan silang	2.61 a	
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	3.67 cd	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Pati resisten pada perlakuan ekstrusi, lebih rendah dibanding perlakuan autoklaving dan pengikatan silang. Hal ini diduga berkaitan dengan kadar amilosanya yang rendah karena terjadi kerusakan pati selama proses ekstrusi berlangsung. Eerlingen *et al.* (1993) dalam penelitiannya melaporkan bahwa pembentukan pati resisten dalam gel pati berasal dari proses kristalisasi amilosa. Disamping itu waktu tinggal yang singkat dalam ekstruder, yaitu hanya sekitar 20-40 detik (Riaz, 2001) menyebabkan tidak cukup waktu bagi molekul amilosa untuk bergabung kembali (Altomare *and* Ghossi, 1986 *dalam* Unlu *and* Faller, 1998), hal ini menyebabkan proses kristalisasi pati tidak optimal sehingga pati resisten yang terbentuk rendah.

Goni *et al.* (1996) mengelompokkan bahan pangan berdasarkan kandungan pati resistennya dalam berat kering, dimana bahan pangan dengan kandungan pati resisten <1% termasuk golongan sangat rendah, 1-2,5% termasuk golongan rendah, 2,5-5% termasuk golongan sedang, 5-15% termasuk golongan tinggi dan >15% termasuk golongan sangat tinggi. Klasifikasi pati resisten pada penelitian ini disajikan pada Tabel 6, dimana dapat dilihat bahwa semua pati hasil modifikasi termasuk dalam kategori pati dengan kandungan pati resisten sedang, belum

mencapai kategori pati resisten tinggi. Hal ini diduga karena proses pemutusan ikatan cabang yang masih kurang optimal. Laga (2006) mengemukakan bahwa granula pati yang utuh sulit untuk ditembus oleh enzim, sehingga sebelum penggunaan enzim granula pati harus digelatinisasi terlebih dahulu agar granula pati pecah dan enzim dapat terpenetrasi secara sempurna ke dalam granula. Penyebab lain yang mengakibatkan pati hasil modifikasi pada penelitian ini masih belum mencapai kategori pati resisten tinggi karena setelah proses gelatinisasi pati tidak ada perlakuan pendinginan yang memacu terjadinya kristalisasi struktur pati/retrogradasi. Pembentukan inti kristal (nukleasi) dapat dipacu dengan melakukan proses pendinginan pada suhu rendah (6°C) (Eerlingen *et al.*, 1993).

Rendemen

Hasil analisa ragam menunjukkan bahwa jenis pati tidak memberikan pengaruh perbedaan nyata sedangkan jenis modifikasi fisik/kimia memberikan pengaruh yang sangat nyata ($\alpha=0.01$) terhadap rendemen pati modifikasi. Pengaruh jenis pati terhadap rendemen pati modifikasi disajikan pada Tabel 7 sedangkan pengaruh perlakuan fisik-kimia disajikan pada Tabel 8.

Tabel 6. Klasifikasi Pati Resisten Berdasarkan Berat Kering

Perlakuan	Kadar Pati Resisten (% bk)	Klasifikasi
Pati alami- autoklaving	3.80	Sedang
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	3.85	Sedang
Pati alami- ekstrusi	3.24	Sedang
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	3.62	Sedang
Pati alami-pengikatan silang	2.86	Sedang
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	4.09	Sedang

Keterangan: Klasifikasi berdasarkan Goni *et al.* (1996)

Tabel 7. Pengaruh Jenis Pati Terhadap Rendemen Pati Modifikasi

Jenis Pati	Rendemen (%)	BNT 0.01
Pati alami	70.833 a	4.795
Pati pemutusan ikatan cabang	68.667 a	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama tidak berbeda nyata

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa perlakuan pemutusan ikatan cabang cenderung menurunkan rendemen pati modifikasi, akan tetapi pengaruh ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Pada proses pemutusan ikatan cabang terjadi pemotongan rantai cabang amilopektin, hasil pemotongan rantai cabang yang berupa limit dekstrin akan terbuang pada saat pencucian. Hal ini menyebabkan turunnya berat molekul pati secara keseluruhan, sehingga rendemen yang dihasilkan lebih rendah.

Tabel 8. Pengaruh Perlakuan Fisik-Kimia Terhadap Rendemen Pati Modifikasi

Modifikasi Fisik-Kimia	Rendemen (%)	BNT 0.01
Autoklaving	77.50 b	5.872
Ekstrusi	49.25 a	
Pengikatan silang	82.50 c	

Keterangan: Nilai rerata yang didampingi huruf yang sama, tidak berbeda nyata

Rendemen pati tertinggi terdapat pada pati yang dimodifikasi dengan pengikatan silang. Pengikatan silang menyebabkan terbentuknya ikatan antar rantai amilosa dan amilopektin dan sesama rantai amilopektin. Semakin banyak ikatan silang maka struktur molekul pati akan semakin kuat. Menurut Woo *and* Seib (2002), pengikatan silang dapat menstabilkan dan memperkuat struktur granula pati. Dengan demikian maka penurunan jumlah pati dapat dihambat sehingga menghasilkan rendemen yang tinggi.

Perlakuan ekstrusi cenderung memberikan rendemen terendah dibanding

perlakuan autoklaving dan pengikatan silang. Hal ini disebabkan pada perlakuan ekstrusi terjadi kehilangan pati yang besar akibat rusak selama proses ekstrusi berlangsung (Della Valle *et al.*, 1989 *dalam* Unlu *and* Faller, 1998). Berkurangnya jumlah pati secara otomatis menurunkan besarnya rendemen pati ekstrusi. Sedangkan pada perlakuan autoklaving struktur kristal yang dihasilkan saat retrogradasi semakin menguatkan struktur granula pati sehingga kehilangan pati dan komponen lainnya dapat dihindari (Wu *and* Sarko, 1978 *dalam* Sajilata *et al.*, 2006).

Rendemen pati modifikasi dipengaruhi juga oleh kadar air dan kadar abu yang dimilikinya. Analisis regresi berganda untuk mengetahui parameter mana yang paling besar pengaruhnya dilakukan. Berdasarkan nilai probabilitas dari hasil analisis, diketahui kadar air dan kadar abu tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap rendemen, sedangkan kadar pati mempunyai pengaruh yang signifikan. Nilai R^2 sebesar 0,913 menunjukkan bahwa kadar pati mempengaruhi besarnya rendemen sebanyak 91,3% yang dinyatakan dengan persamaan $Y = 2,068X - 93,784$. Hal ini berarti rendemen berkorelasi positif dengan kadar pati, semakin besar kadar pati maka rendemen akan semakin tinggi dan sebaliknya.

Sifat-Sifat Amilografi

Hasil pengamatan sifat-sifat amilografi meliputi suhu awal gelatinisasi (Sa), suhu gelatinisasi (Sg), viskositas maksimum (Vs) serta lama waktu tercapainya gelatinisasi sempurna (Tg) disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengamatan Sifat-Sifat Amilografi Pada Pati Modifikasi

Perlakuan	Sa (°C)	Sg (°C)	Vs (AU)	Tg (menit)
Pati alami- autoklaving	61,6	83,8	1000	37
Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving	75,0	80,5	596	34
Pati alami- ekstrusi	<30,1	<30,1	-	-
Pati pemutusan ikatan cabang-ekstrusi	<30,1	30,1	1	31
Pati alami-pengikatan silang	77,8	87,0	1952	36
Pati pemutusan ikatan cabang-pengikatan silang	79,3	89,6	1478	38

Berdasarkan Tabel 9, secara umum dapat dilihat bahwa suhu awal gelatinisasi pati pemutusan ikatan cabang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami. Pada pati pemutusan ikatan cabang, kandungan amilosanya yang tinggi menyebabkan pati lebih sulit tergelatinisasi dibandingkan pati tanpa pemutusan ikatan cabang yang kandungan amilosanya lebih rendah. Hal ini karena amilosa lebih mudah membentuk struktur kristal sehingga untuk mencapai tahap gelatinisasi memerlukan suhu yang lebih tinggi. Bizot *et al.* (1997) melaporkan bahwa kristalinitas diinduksi oleh rantai linier polianhidroglukosa, sementara molekul bercabang kurang bisa membentuk kristal.

Pati yang dimodifikasi dengan pengikatan silang mempunyai suhu gelatinisasi tertinggi dengan viskositas yang tinggi pula. Be Miller *and* Whistler (1996) melaporkan bahwa semakin tinggi derajat ikatan silang, granula pati semakin toleran terhadap perlakuan fisik dan asam, sehingga energi untuk mencapai pembengkakan dan viskositas maksimum juga meningkat. Hal ini menyebabkan suhu awal gelatinisasi dan suhu gelatinisasi pada pati ikatan silang paling tinggi.

Pati pemutusan ikatan cabang pada pati yang dimodifikasi dengan autoklaving, memiliki suhu awal gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan pati alaminya. Hal ini berkaitan dengan rasio amilosa/amilopektin dan tingkat retrogradasi pati. Hsieh *and* Luh (1991) melaporkan bahwa beras dengan rasio amilosa/amilopektin yang rendah, suhu yang diperlukan untuk gelatinisasi juga lebih rendah, saat pendinginan pastinya menunjukkan tingkat retrogradasi yang rendah. Pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving memiliki rasio amilosa/amilopektin yang lebih tinggi akibat pemotongan rantai cabang amilopektin sehingga suhu awal gelatinisasinya juga lebih tinggi. Viskositas yang diperoleh menunjukkan pati pemutusan ikatan cabang-autoklaving memiliki viskositas yang lebih rendah daripada pati alami. Hal ini disebabkan dengan tingkat retrogradasi yang lebih

tinggi pati lebih sulit mengembang selama proses pemanasan karena adanya ikatan hidrogen yang kuat sehingga viskositasnya lebih rendah.

Pati yang dimodifikasi dengan perlakuan ekstrusi mempunyai suhu awal gelatinisasi dan suhu gelatinisasi yang rendah serta viskositas yang rendah pula. Pada pati alami yang diekstrusi proses gelatinisasi sempurna diduga telah terjadi dibawah suhu 30,1°C sehingga viskositas tidak dapat terdeteksi. Selama perlakuan ekstrusi berlangsung terjadi peristiwa degradasi molekuler seperti dikemukakan oleh Della Valle *et al.* (1989) *dalam* Unlu *and* Faller (1998). Hal ini menyebabkan granula pati rusak dan kehilangan viskositas pastinya. Menurut Kazemzadeh (2001) jika produk berbasis pati diekstrusi, viskositasnya akan lebih rendah dari awalnya karena adanya tekanan dan pemotongan granula pati. Hagenimana *et al.* (2006) juga melaporkan bahwa penurunan viskositas pati ekstrusi menunjukkan besarnya degradasi pati dan gelatinisasi pati yang terjadi selama proses ekstrusi berlangsung.

Pemilihan Perlakuan Terbaik

Penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode De Garmo *et al.* (1984) yang didasarkan pada parameter kadar pati resisten, kadar pati, rendemen, suhu gelatinisasi, kadar air dan kadar abu. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai produk tertinggi pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang. Oleh karena itu, pati pemutusan ikatan cabang dengan pengikatan silang dipilih sebagai perlakuan terbaik. Data hasil perlakuan terbaik ditunjukkan pada Tabel 10.

Peningkatan pati resisten pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang apabila dibandingkan dengan pati awalnya, belum mencapai kategori pati resisten yang tinggi. Namun demikian pati ini telah mengalami perubahan sifat resistensi dari RS-2 (pati resisten alami) menjadi RS-4 (pati hasil pengikatan silang).

Tabel 10. Karakteristik Pati Resisten Hasil Perlakuan Terbaik

Parameter	Besaran
Kadar air (%)	8,45
Kadar abu (%)	3,19
Kadar pati (%)	85,44
Kadar pati resisten (%)	3,67
Kadar fosfat (%)	0,26
Suhu awal gelatinisasi (°C)	79,30
Suhu gelatinisasi (°C)	89,60
Viskositas maksimum (AU)	1478
Rendemen (%)	82,50

Peningkatan suhu gelatinisasi menunjukkan bahwa pati pemutusan ikatan cabang dengan pengikatan silang mempunyai kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati awalnya. Berdasarkan ketentuan yang ada, kadar residu fosfat yang diijinkan untuk penggunaan campuran STMP/STPP pada produk pangan adalah sebesar 0,4% (Chung *et al.*, 2004). Hal ini berarti pati hasil modifikasi ini masih diijinkan/aman untuk dikonsumsi.

KESIMPULAN

Perlakuan jenis pati dan perlakuan fisik kimia beserta interaksinya memberikan pengaruh nyata terhadap kadar pati resisten, kadar pati, kadar amilosa, kadar air dan kadar abu pati modifikasi. Pati hasil modifikasi yang dihasilkan mempunyai parameter kimia meliputi: kadar air berkisar antara 5,07–8,93%, kadar abu 0,26–3,19%, kadar pati 68,18–86,68%, kadar amilosa 20,65–24,91%, kadar pati resisten 2,61–3,67%, rendemen 48,4–82,5%, suhu awal gelatinisasi 61,6–79,3°C, suhu gelatinisasi 30,1–89,6°C, dan viskositas maksimum 1–1952 AU.

Pati pemutusan ikatan cabang dengan pengikatan silang diperoleh sebagai perlakuan terbaik dengan kadar air 8,45%, kadar abu 3,19%, kadar pati 85,44%, kadar pati resisten 3,67%, suhu awal gelatinisasi 79,3°C, suhu gelatinisasi 89,6°C dan viskositas maksimum 1478 AU.

DAFTAR PUSTAKA

- Be Miller, J. N. and R. L. Whistler. 1996. Carbohydrates. In Fennema, O. R. 1996. Food Chemistry. Marcel Dekker Inc. New York
- Bizot, H.; A. N. Bail; B. Levoux; J. Davy; P. Roger and A. Buleon. 1997. Calorimetric Evaluation of The Glass Transition In Hydrated, Linear and Branched Polyanhydroglucose Compounds. Carbohydrate Polymer Vol. 32:33-50
- Cahyana, P. T. dan B. Haryanto. 2006. Pengaruh Kadar Amilosa Terhadap Permeabilitas Film Dari Pati Beras. Prosiding Seminar Nasional PATPI. Yogyakarta
- Chung, H. J.; K.S Woo and S.T. Lim. 2004. Glass Transition and Enthalpy Relaxation of Cross-Linked Corn Starches. Carbohydrate Polymers. Vol 55:9-15
- Eerlingen, R. C.; M. Crombez and J. A. Delcour. 1993. Enzyme Resistant Starch I. Quantitative and Qualitative Influence of Incubation Time and Temperature of Autoclaved Starch on Resistant Starch Formation. J. Cereal Chem. Vol. 70 (3): 339-344
- Englyst, H. N.; S. M. Kingman and J. H. Cummings. 1992. Classification and Measurement of Nutritionally Important Starch Fractions. In Impact of Analytical Method on Resistant Starch Determination. <http://www.opta-Food.com/access/rsm.html>. pp1-6
- Goni, J.; L. G. Diz; E. Manas and F. S. Calixto. 1996. Analysis of Resistant Starch: Method for Foods and Food Products. J. Food Chem. Vol. 56 (4): 445-449
- Hagenimana, A.; X. Ding and T. Fang. 2006. Evaluation of Rice Flour Modified by Extrusion Cooking. J. Cereal Sci. Vol 43: 38-46
- Haralampu, S.G. 2000. Resistant Starch—A Review of The Physical Properties and Biological Impact of RS3. Carbohydrate Polymer 41: 285-292
- Haryadi. 2006. Teknologi Pengolahan Beras. UGM Press. Yogyakarta
- Hsieh, F. dan B. S. Luh. 1991. Breakfast Rice Cereals and Baby Foods. In Luh, B. S. 1991. Rice Utilization. Van Nostrand Reinhold. New York

- Huang, D. P. and L. W. Rooney. 2001. Starches for Snacks Foods. In Lusas, R. W. and L. W. Rooney. 2001. Snack Foods Processing. CRC Press. New York
- Huber, K. C. and J. N. Be Miller. 2000. Channels of Maize and Sorghum Starch Granules. Carbohydrate Polymers Vol 41: 269-276
- Kazemzadeh, M. 2001. Baby Foods. In Guy, R. 2001. Extrusion Cooking: Technologies and Applications. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge
- Laga, A. 2006. Pengembangan Pati Termodifikasi dari Substrat Tapioka dengan Optimalisasi Pemotongan Rantai Cabang Menggunakan Enzim Pullulanase. Prosiding Seminar Nasional PATPI. Yogyakarta
- Marsono, Y. 1998. Perubahan Kadar Resistant Starch (RS) dan Komposisi Kimia Beberapa Bahan Pangan Kaya Karbohidrat dalam Proses Pengolahan. Prosiding Seminar Nasional PATPI. Yogyakarta
- O'Dell, J. 1979. The Use of Modified Starch In The Food Industry. In Blanshard, J. M. V. and J. R. Mitchell. 1979. Polysaccharides In Food. Butterworth and Co Ltd. London
- Riaz, M. N. 2001. Selecting The Right Extruder. In Guy, R. 2001. Extrusion Cooking: Technologies and Applications. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge
- Rodriquez, M. E.; M. Yanez-Limon; J. J. Alvarado-Gil; H. Vargas; F. Sanchez-Sinencio; D. C. Figueroa; F. Martinez-Bustos; J. L. Martinez-Montes; J. Gonzalez-Hernandez; M. D. Silva and L. C. M. Miranda. 1996. Influence of The Sructural Changes During Alkaline Cooking on The Thermal Rheological and Dielectric Properties of Corn Tortillas. J. Cereal Chem. Vol. 73(5): 593-600
- Sajilata, M. G.; R. S. Singhal and P. R Kulkarni. 2006. Resistant Starch A Review. CRFSFS Vol 5. Institute of Food Technology
- Shelton, D. R. and W. J. Lee. 2000. Cereal Carbohydrates. In Kulp, K. and G. Ponte Jr. 2000. Handbook of Cereal Science and Technology. Marcell Dekker Inc. New York
- Sudarmadji, S.; B. Haryono dan Suhardi. 1997. Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan dan Pertanian. Liberty. Yogyakarta
- Unlu, E and J. F. Faller. 1998. Formation of Resistant Starch by a Twin Screw Extruder. J. Cereal Chem. Vol. 75 (3): 346-350
- Woo, K. S. and P. A. Seib. 2002. Crosslinked Resistant Starch: Preparation and Properties. J. Cereal Chem. Vol. 79 (6): 819-825