

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

***Native and Debranched Starch Modification Using
Physico-Chemical Treatment to Increase Resistant Starch
Content in Rice***

Siti Narsito Wulan*, Tri Dewanti Widyaningsih, dan Dian Ekasari

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
Jl. Veteran, Malang. Telp. (0341) 580106, 564398 Fax. (0341) 568917

*Penulis korespondensi, email: wulan_thpub@yahoo.com

ABSTRACT

Besides dietary fiber, resistant starch is carbohydrate that escape human digestion system, therefore it has potential health benefits. A study on native and debranched starch from rice using physico-chemical treatment has been conducted. Physico chemical treatment used were autoclaving, extrusion and crosslinking. The result showed that debranched starch which was treated with autoclaving, extrusion and crosslinking had higher resistant starch content than native starch treated with the same physico chemical treatment. The best treatment with the highest resistant starch content was obtained from debranched starch treated with crosslinking. The physicochemical properties of the product were as follows: moisture content of 8,45%, ash content of 3,19%, starch content of 85,44%, resistant starch content of 3,67%, initial gelatinization temperature of 79,3oC, gelatinization temperature of 89,6oC, and maximum viscosity of 1478 AU.

Key word: resistant starch, debranching, autoclaving, extrusion, crosslinking

PENDAHULUAN

Pati resisten (RS) merupakan karbohidrat tidak tercerna dalam sistem pencernaan manusia sehingga berpengaruh positif bagi kesehatan tubuh. Pati resisten mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan serat pangan yaitu tidak mempunyai kecenderungan mengikat mineral, tidak menyebabkan flatulensi serta memberikan tekstur dan kenampakan yang lebih baik. 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 pati mentah (RS-2), tetapi proses pemanasan dapat merusak sifat resistensinya. 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 akan tetapi memerlukan waktu yang lama (Huang *and* Rooney, 2001).

Pemutusan rantai cabang amilopektin diharapkan dapat menyediakan rantai terluar dengan derajat polimerisasi yang lebih besar (25-45 residu glukosa) sehingga rantai pati lebih mudah mengalami retrogradasi apabila diberi perlakuan fisik seperti pemanasan, atau pengikatan silang. Pemutusan rantai cabang dilakukan dengan pemutusan ikatan cabang oleh enzim pullulanase. Perlakuan fisik panas yang dipilih pada penelitian ini adalah autoklaving dan ekstrusi, sedangkan pengikatan silang dilakukan menggunakan STPP/STMP (*sodium triphosphate/sodium trimetaphosphate*).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah beras sosoh varietas IR-64, enzim untuk perlakuan enzimatis yaitu pullulanase dari *Bacillus acidophyllus* diperoleh dari Sigma Chemical Co. USA. STMP dan STPP untuk perlakuan pengikatan silang.

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

Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi ekstraksi pati dari beras dan pembuatan pati tinggi pati resisten. Pembuatan pati tinggi pati resisten dilakukan sebagai berikut: Sebanyak 100 g pati beras dibuat suspensi dalam bufer asetat pH 5 (10% b/v), kemudian ditambah enzim pululanase 240 µl. Campuran kemudian diinkubasi dalam penangas air bergoyang suhu 40°C 160 rpm selama 30 menit. Setelah inkubasi selesai, dilakukan sentrifugasi dan supernatan dibuang. Pati kemudian dicuci berurutan dengan 100 ml akuades, 100 ml etanol, dan 100 ml aseton. Kemudian dipanaskan dalam oven suhu 100°C selama 5 menit untuk inaktivasi enzim, dilanjutkan dengan penengrangan dalam pengering kabinet suhu 37°C selama 2 jam. Pati kemudian digiling dan diayak ukuran 80 mesh.

a. Perlakuan autoklaving

Pati dibuat suspensi 20% (b.v) kemudian diautoklaf suhu 121°C selama 11 menit. Gel pati yang terbentuk dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dengan pengering kabinet suhu 55±5°C selama 36 jam. Pati yang telah kering digiling dengan blender dan diayak 80 mesh.

b. Perlakuan ekstrusi

Pati dihidrasi dengan penambahan 30% air kemudian dibuat pellet dan dikeringkan dengan pengering kabinet suhu 40°C selama 5 jam. Pellet kemudian diekstrusi, dan ekstrudat yang dihasilkan digiling dengan blender dan diayak 80 mesh.

c. Perlakuan pengikatan silang

Pati sebanyak 100 g direaksikan dengan 12 g STMP/STPP (99:1) dan ditambahkan 140 ml akuades dan 100 g Na₂SO₄ diatur

sampai pH 11 dengan penambahan 50 ml NaOH 1 M. Suspensi pati diaduk pada suhu 45°C selama 3 jam kemudian diatur pH 6,5 dengan penambahan HCl 1 M. Selanjutnya disentrifusa dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Residu dicuci dengan 300 ml akuades sebanyak 7 kali dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam. Pati kemudian digiling dengan blender dan diayak 80 mesh.

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

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

Tabel 1. Rerata kadar air pati modifikasi

Perlakuan	Kadar air (%)
Pati alami- autoklaving	8,40 b
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 menyatakan tidak berbeda nyata. Nilai DMRT 0,603–0,635

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 mengalami interaksi antar rantai molekul polimer yang kuat atau mudah mengalami ikatan silang sehingga menghalangi masuknya molekul air (Garcia *et al.*, 1999 dalam Cahyana dan Haryanto, 2006).

Kadar air pati ekstrusi yang diperoleh lebih rendah dari perlakuan kimiawi. Menurut Riaz (2001), ekstrusi merupakan suatu proses gabungan 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 seperti ini, 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.

Tabel 2. Rerata kadar abu pati modifikasi

Perlakuan	Kadar abu (%)
Pati alami- autoklaving	1,06 d
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 menyatakan tidak berbeda nyata. Nilai DMRT 0,135-0,142

Patikombinasipemutusanikatancabang dengan autoklaving dan ekstrusi mengalami penurunan kadar abu dibandingkan dengan pati alami (Tabel 2). Pada proses pemutusan ikatan cabang, pati melalui beberapa kali proses pencucian yang menyebabkan pati mengalami pemurnian dari kotoran.

Kadar abu pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang mengalami peningkatan kadar abu. Peningkatan tersebut disebabkan adanya penggunaan reagen STMP/STPP. Granula pati dilaporkan mempunyai pori-pori di permukaan dan rongga internal dalam hilum, diantara keduanya terdapat saluran penghubung (Huber *and* Be Miller, 2000). Kondisi ini memberikan akses yang terbuka ke dalam bagian dalam granula, sehingga memfasilitasi penetrasi 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.

Berdasarkan Tabel 3 diketahui kadar 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 3. Rerata kadar pati pada pati modifikasi

Perlakuan	Kadar pati (%)
Pati alami- autoklaving	86,67 d
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 menyatakan tidak berbeda nyata. Nilai DMRT 2,762-2,902.

Kadar pati pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang 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.

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.

Tabel 4. Rerata kadar Amilosa pada pati modifikasi

Perlakuan	Kadar Amilosa (%)
Pati alami- autoklaving	20,97 b
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 menyatakan tidak berbeda nyata. Nilai DMRT 0,621-0,654.

Pada modifikasi pati dengan pengikatan silang, kadar amilosa tidak diketahui karena amilosa yang ada tidak tertera pada saat dianalisis. 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 disebabkan enzim pullulanase memotong rantai cabang amilopektin sehingga jumlah amilosa cenderung meningkat. Laga (2006) melaporkan bahwa peningkatan jumlah amilosa terjadi akibat putusnya 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.

Pati modifikasi ekstrusi mempunyai 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 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rerata kadar Pati Resisten pada pati modifikasi

Perlakuan	Kadar RS (%)
Pati alami- autoklaving	3,48 c
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 menyatakan tidak berbeda nyata. Nilai DMRT = 0,222-0,2336

Pada pati pemutusan ikatan cabang kadar pati resisten lebih tinggi dibandingkan pati alami. 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 (Panlasigui *et al.*, 1991 *dalam* Marsono, 1998).

Kadar pati resisten tertinggi terdapat pada pati pemutusan ikatan cabang yang dikombinasikan dengan pengikatan silang (Tabel 5). Diduga ikatan silang akan menghalangi masuknya enzim amilase melalui saluran berpori yang menembus bagian dalam granula pati sereal (Huber *and* Be Miller, 2000). Semakin banyak residu fosfat yang membentuk ikatan silang, kadar pati resisten semakin

Pada modifikasi pati dengan perlakuan autoklaving, pati resisten terbentuk 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.

Pada perlakuan ekstrusi, pati resisten yang lebih rendah dari 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) sehingga proses kristalisasi pati tidak optimal.

Goni *et al.* (1996) mengelompokkan bahan pangan berdasarkan kandungan pati resistennya dalam berat kering. 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.

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)

Semua pati hasil modifikasi termasuk dalam kategori pati dengan kandungan pati resisten sedang, belum mencapai kategori pati resisten tinggi (Tabel 6). Hal ini diduga akibat proses pemutusan ikatan cabang yang kurang optimum. Laga (2006) mengemukakan bahwa granula pati yang utuh sulit untuk ditembus oleh enzim. 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 adalah setelah proses gelatinisasi pati tidak ada perlakuan pendinginan yang memacu terjadinya kristalisasi amilosa atau 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 nyata sedangkan jenis modifikasi fisik/kimia memberikan pengaruh yang sangat nyata ($\alpha=0.01$) terhadap rendemen. Pengaruh jenis pati terhadap rendemen pati modifikasi disajikan pada Tabel 7 sedangkan pengaruh perlakuan fisik-kimia disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Pengaruh jenis pati terhadap rendemen pati modifikasi

Jenis Pati	Rendemen (%)
Pati alami	70,833 a
Pati pemutusan ikatan cabang	68,667 a

Keterangan: nilai rerata yang didampingi huruf yang sama menyatakan tidak berbeda nyata. BNT=4,795

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.

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.

Tabel 8. Pengaruh perlakuan fisik-kimia terhadap rendemen pati modifikasi

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

Keterangan: nilai rerata yang didampingi huruf yang sama menyatakan tidak berbeda nyata. BNT=5,876

Perlakuan ekstrusi menghasilkan rendemen terendah. Perlakuan ekstrusi mengakibatkan kerusakan pati (Della Valle *et al.*, 1989 dalam Unlu and Faller, 1998). Berkurangnya jumlah pati secara otomatis menurunkan besarnya rendemen pati ekstrusi. 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).

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.

Suhu awal gelatinisasi pati pemutusan ikatan cabang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami (Tabel 9). Kandungan amilosanya yang tinggi menyebabkan pati pemutusan ikatan cabang lebih sulit tergelatinisasi dibandingkan pati tanpa pemutusan ikatan cabang. 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 mampu membentuk kristal.

Tabel 9. Sifat-sifat amilografi 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

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. Akibatnya suhu awal gelatinisasi dan suhu gelatinisasi pati ikatan silang paling tinggi.

Pada pati yang dimodifikasi dengan autoklaving, pati pemutusan ikatan cabang 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 dari pati alami. 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 hasil ekstrusi, 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 pasta. 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.

KESIMPULAN

Perlakuan fisik kimia berpengaruh terhadap kadar pati resisten, kadar pati, kadar amilosa, kadar air dan kadar abu pati modifikasi. Pati hasil pemutusan ikan cabang yang dilanjutkan dengan perlakuan autoklaving, ekstrusi, dan pengikatan silang mempunyai kadar pati resisten yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemutusan ikatan cabang. Perlakuan yang memberikan kadar pati resisten tertinggi adalah pati pemutusan ikatan cabang yang diberi perlakuan pengikatan silang.

DAFTAR PUSTAKA

- Be Miller, J.N. and R.L. Whistler. 1996. Carbohydrates. Dalam O.R. Fennema (ed.). 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 polyhydroglucose 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*. 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. Dalam B.S. Luh (ed.). 1991. *Rice Utilization*. Van Nostrand Reinhold. New York
- Huang, D.P. and L.W. Rooney. 2001. Starches for Snacks Foods. Dalam R.W. Lusas and L.W. Rooney (eds). 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. Dalam R. Guy (ed). 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. Dalam J.M.V. Blanshard and J.R. Mitchell (eds). 1979. *Polysaccharides In Food*. Butterworth and Co Ltd. London
- Riaz, M.N. 2001. Selecting The Right Extruder. Dalam R. Guy (ed). 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 structural changes during alkaline cooking on the thermal rheological and dielectric properties of corn tortillas. *J. Cereal Chem*. 73(5): 593-600
- Sajilata, M.G., R.S. Singhal, and P.R. Kulkarni. 2006. Resistant starch a review. *CRFSFS* Vol 5.
- Shelton, D.R. and W.J. Lee. 2000. Cereal Carbohydrates. Dalam K. Kulp 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*. 75(3): 346-350
- Woo, K.S. and P.A. Seib. 2002. Crosslinked resistant starch: preparation and properties. *J. Cereal Chem*. 79(6): 819-825