

POTENSI PENGEMBANGAN PRODUK PATI TAHAN CERNA SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL

Heny Herawati

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah, Bukit Tegalepek, Kotak Pos 101, Ungaran 50501
Telp. (024) 6924965, 6924967, Faks. (024) 6924966, E-mail: bptp-jateng@litbang.deptan.go.id

Diajukan: 31 Desember 2009; Diterima: 19 Mei 2010

ABSTRAK

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, terdiri atas amilosa dan amilopektin. Pemanfaatan pati asli masih sangat terbatas karena sifat fisik dan kimianya kurang memungkinkan untuk dimanfaatkan secara luas. Pati tahan cerna (*resistant starch/RS*) merupakan fraksi pati yang tahan terhadap hidrolisis oleh enzim pencernaan amilase serta perlakuan pulunase secara *in vitro*. RS merupakan produk pati termodifikasi dan terbagi menjadi empat tipe, yaitu RS1, RS2, RS3, dan RS4. Proses produksi RS bergantung pada tipe pati yang akan dihasilkan, yang meliputi modifikasi fisik, kimia, dan biokimia. Masing-masing proses produksi tersebut akan memengaruhi karakteristik RS yang dihasilkan. RS memiliki nilai fungsional untuk fortifikasi serat, mengurangi kalori, dan mengoksidasi lemak. Berdasarkan proses produksi, karakteristik, nilai fungsional, maupun alternatif pemanfaatannya, RS memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan sebagai produk pangan fungsional bagi kesehatan.

Kata kunci: Pati, pati tahan cerna, pati modifikasi, proses produksi, pangan fungsional

ABSTRACT

The potential of resistant starch product development as functional food

Starch is a carbohydrate which consists of amylose and amylopectin. Utilization of native starch is still limited due to unappropriate physical and chemical characteristics for its broaden use. Resistant starch (RS) is a starch fraction that is unhydrolyzed with amylase and pullunase digestive enzymes *in vitro*. RS is a modified starch and classified into four types, i.e. RS1, RS2, RS3, and RS4. RS production processes are highly depending on the types of RS produced, such as physically, chemically, and biochemically. These production processes influence the product characteristics. RS has a function of dietary fiber enrichment, calory reduction, and fat oxidation. Based on production processes, characteristics, functional values, and utilization alternatives, RS has high potential to be developed as functional food for human health.

Keywords: Starch, resistant starch, modified starches, production process, functional food

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, dan terdiri atas amilosa dan amilopektin (Jacobs dan Delcour 1998). Pati dapat diperoleh dari biji-bijian, umbi-umbian, sayuran, maupun buah-buahan. Sumber alami pati antara lain adalah jagung, labu, kentang, ubi jalar, pisang, *barley*, gandum, beras, sagu, *amaranth*, ubi kayu, ganyong, dan sorgum.

Pemanfaatan pati asli masih sangat terbatas karena sifat fisik dan kimianya kurang sesuai untuk digunakan secara luas. Oleh karena itu, pati akan meningkat nilai ekonominya jika dimodifikasi sifat-sifatnya melalui perlakuan fisik, kimia,

atau kombinasi keduanya (Liu *et al.* 2005).

Modifikasi pati bertujuan mengubah sifat kimia dan atau fisik pati secara alami, yaitu dengan cara memotong struktur molekul, menyusun kembali struktur molekul, oksidasi, atau substitusi gugus kimia pada molekul pati (Wurzburg 1989). Salah satu jenis pati termodifikasi yaitu pati tahan cerna (*resistant starch/RS*).

Pati tahan cerna ditemukan pertama kali oleh Englyst *et al.* (1982) dan didefinisikan sebagai fraksi pati yang tahan terhadap hidrolisis enzim pencernaan amilase dan perlakuan pulunase secara *in vitro*. Karena pati banyak dijumpai

dalam saluran pencernaan serta sedikit difermentasi oleh mikroflora usus, RS sering diidentifikasi sebagai fraksi pati makanan yang sulit dicerna di dalam usus halus sehingga memiliki fungsi untuk kesehatan. RS memiliki sifat seperti halnya serat makanan, sebagian serat bersifat tidak larut dan sebagian lagi merupakan serat yang larut (Asp 1992). Beberapa sumber karbohidrat seperti gula dan pati dapat dicerna dan diserap secara cepat di dalam usus halus dalam bentuk glukosa, yang selanjutnya diubah menjadi energi. RS masuk ke dalam usus besar seperti halnya serat makanan (Asp 1992).

RS dapat dikembangkan langsung dari bahan bakunya atau melalui modifikasi proses. Modifikasi proses dengan cara memodifikasi ikatan silang umumnya menghasilkan pati dengan daya tahan cerna yang rendah. RS memiliki nilai daya tahan cerna 35–65%. Modifikasi secara kimiawi umumnya menghasilkan RS yang memiliki daya tahan cerna cukup tinggi. Dengan proses modifikasi, dapat dihasilkan maizena yang mengandung amilosa 85%, 90,10%, 94,80% atau lebih (Mcnaught *et al.* 1998). Tulisan ini mengulas karakteristik serta potensi RS sebagai pangan fungsional.

PATI

Pati adalah karbohidrat yang terdiri atas amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan bagian polimer linier dengan ikatan α -(1→4) unit glukosa. Derajat polimerisasi amilosa berkisar antara 500–6.000 unit glukosa, bergantung pada sumbernya. Amilopektin merupakan polimer α -(1→4) unit glukosa dengan rantai samping α -(1→6) unit glukosa. Dalam suatu molekul pati, ikatan α -(1→6) unit glukosa ini jumlahnya sangat sedikit, berkisar antara 4–5%. Namun, jumlah molekul dengan rantai yang bercabang, yaitu amilopektin, sangat banyak dengan derajat polimerisasi 10^5 – 3×10^6 unit glukosa (Jacobs dan Delcour 1998).

Amilosa merupakan bagian dari rantai lurus yang dapat memutar dan membentuk daerah sultur ganda. Pada permukaan luar amilosa yang bersultur tunggal terdapat hidrogen yang berikatan dengan atom O-2 dan O-6. Rantai lurus amilosa yang membentuk sultur ganda kristal tersebut tahan terhadap amilase. Ikatan hidrogen inter- dan intra-sultur mengakibatkan terbentuknya struktur hidrofobik dengan kelarutan yang rendah. Oleh karena itu, sultur tunggal amilosa mirip dengan siklodekstrin yang bersifat hidrofobik pada permukaan dalamnya (Chaplin 2002).

Pada struktur granula pati, amilosa dan amilopektin tersusun dalam suatu cincin-cincin. Jumlah cincin dalam suatu granula pati kurang lebih 16 buah, yang terdiri atas cincin lapisan amorf dan cincin lapisan semikristal (Hustiany 2006).

Amilosa merupakan fraksi gerak, yang artinya dalam granula pati letaknya tidak pada satu tempat, tetapi bergantung pada jenis pati. Umumnya amilosa terletak di

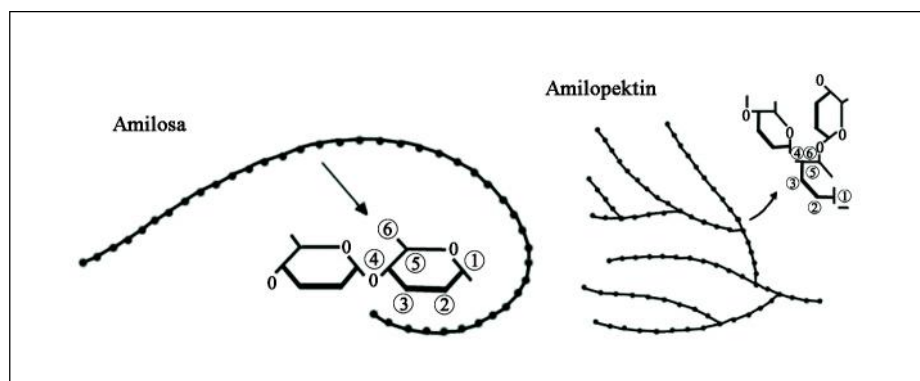
antara molekul-molekul amilopektin dan secara acak berada selang-seling di antara daerah amorf dan kristal (Oates 1997; Gambar 1).

Ketika dipanaskan dalam air, amilopektin akan membentuk lapisan yang transparan, yaitu larutan dengan viskositas tinggi dan berbentuk lapisan-lapisan seperti untaian tali. Pada amilopektin cenderung tidak terjadi retrogradasi dan tidak membentuk gel, kecuali pada konsentrasi tinggi (Belitz dan Grosch 1999).

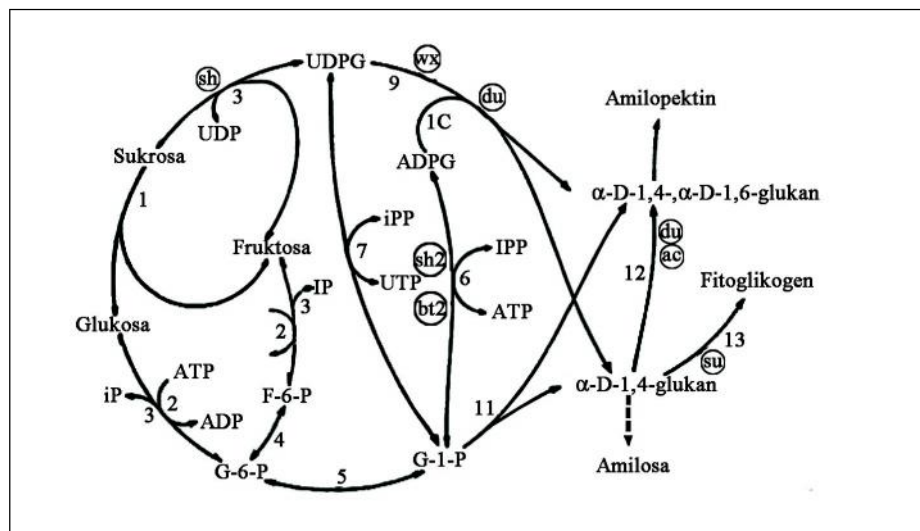
Proses produksi RS biasanya menggunakan pati yang mengandung amilosa tinggi. Kandungan amilosa pada beberapa pati sumber bahan pangan yaitu tapioka 17%, kentang 21%, beras 28,60%, beras dengan kadar amilosa rendah 2,32%, gandum 28%, *barley* 25,30%, *barley* kaya amilosa 44,10%, oat 29,40%, maizena 28,70%, dan maizena kaya amilosa 67,80% (Eliasson 1996). Varietas tanaman

penghasil pati kaya amilosa merupakan hasil rekayasa genetik. Dengan menggunakan bioteknologi, beberapa varietas tanaman dapat dimodifikasi sehingga menghasilkan pati dengan persentase amilosa dan amilopektin tertentu sesuai yang diinginkan.

Untuk mengetahui proses sintesis amilosa dan amilopektin pada tanaman, dapat dilakukan melalui siklus konversi sukrosa menjadi amilosa dan amilopektin, yang secara garis besar disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan mekanisme tersebut, proses produksi serta persentase amilosa dan amilopektin dapat direkayasa lebih lanjut terkait dengan proses produksi RS. Pada siklus produksi amilosa dan amilopektin, sukrosa digunakan sebagai substrat dasar. Uridin difosfat glukosa (UDPG) dibentuk dengan menggunakan enzim sukrosa sintase. Enzim tersebut juga bertanggung jawab pada



Gambar 1. Struktur amilosa dan amilopektin (Belitz dan Grosch 1999).



Gambar 2. Siklus konversi sukrosa menjadi amilosa, amilopektin, dan fitoglikogen dari biji jagung (Boyer dan Shanon 1983).

proses pembentukan granula pati, di mana UDPG dapat dikonversi menjadi G-1-P. Enzim yang bertanggung jawab dalam pembentukan (1-4)- α -D-glukan yaitu fosforilase. Pada proses optimasi komposisi amilosa pada pati, salah satunya dapat dilakukan dengan cara mengendalikan enzim fosforilase yang terdapat pada siklus tersebut. Namun, selain enzim, beberapa faktor juga dapat memengaruhi proses pembentukan amilosa (Boyer dan Shanon 1983).

PATI TERMODIFIKASI

Modifikasi pati dilakukan untuk mengubah sifat kimia dan atau sifat fisik pati secara alami. Modifikasi pati dapat dilakukan dengan cara memotong struktur molekul, menyusun kembali struktur molekul, oksidasi, atau melakukan substitusi gugus kimia pada molekul pati (Wurzburg 1989).

Modifikasi tapioka sudah banyak dilakukan dengan berbagai metode, seperti asilasi dan prigelatinisasi pati dengan asam stearat untuk matriks flavor (Varavinit *et al.* 2001), asilasi pati dengan asam propionat dicampur dengan poliester poliuretan untuk dijadikan film (Santayanan dan Wootthikanokkhan 2003), hidrolisis dengan HCl untuk memperoleh tingkat kristal yang tinggi (Atichokudomchai *et al.* 2001, 2002), hidrolisis dengan HCl dan reaksi silang dengan natrium trimetaphosfat untuk pembuatan tablet (Atichokudomchai dan Varavinit 2003), reaksi silang dengan fosfor oksiklorida (Khatijah 2000),

dekstrin, seperti K4484 yang merupakan dekstrin tapioka, serta pati termodifikasi (seperti flomax 8) untuk dijadikan matriks (National Starch 2005). Beberapa tipe pati termodifikasi serta sifat dan pemanfaatannya disajikan pada Tabel 1.

PATI TAHAN CERNA

Secara umum, pati dapat dikelompokkan menjadi pati yang dapat dicerna dengan cepat atau *rapid digestible starch* (RDS), dan pati yang memiliki daya cerna lambat atau *slowly digestible starch* (SDS). Contoh RDS yaitu beras dan kentang yang telah dimasak serta beberapa sereal instan siap saji, dan contoh SDS adalah pati sereal, produk pasta, dan RS, yaitu pati yang sulit dicerna di dalam usus halus (Englyst *et al.* 1992).

RS dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe, yaitu RS1, RS2, RS3, dan RS4. RS1 secara fisik dapat diperoleh secara langsung, seperti pada biji-bijian atau leguminosa dan biji yang tidak diproses (Gambar 3). RS2 secara alami terdapat di dalam struktur granula, seperti kentang yang belum dimasak, juga pada tepung pisang dan tepung jagung yang mengandung banyak amilosa (Gambar 4). RS3 terbentuk karena proses pengolahan dan pendinginan, seperti pada roti, emping jagung dan kentang yang dimasak atau didinginkan, atau retrogradasi amilosa jagung (Gambar 5). RS4 merupakan pati hasil modifikasi secara kimia melalui asetilasi dan hidroksipropilasi

maupun pati ikatan silang sehingga tahan dicerna (Gambar 6).

RS1 secara fisik merupakan pati yang terperangkap di antara matriks, protein atau dinding sel tanaman. RS2 granula pati tahan terhadap pencernaan oleh enzim α -amilase yang terdapat dalam pankreas. RS3 merupakan pati retrogradasi, nonanguler atau pati untuk makanan. RS4 yaitu RS yang memiliki ikatan selain α -1,4- dan α -1,6-D-glukosidik (Shi *et al.* 2006).

RS1 mempunyai karakteristik stabil terhadap proses pemanasan pada saat pengolahan, serta banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk makanan tradisional. RS2 merupakan pati yang memiliki bentuk granula dan tahan terhadap enzim pencernaan. Secara kimiawi, glukosa yang dihasilkan oleh enzim pencernaan pada sampel pati yang dimasak secara homogen dan sampel yang tidak dimasak dapat diukur untuk menentukan kandungan RS2. Contoh RS2 yaitu pati yang tidak tergelatinisasi, atau yang secara alami terdapat pada pisang. RS1 dan RS2 akan meninggalkan residu serat, dan lambat dicerna di dalam usus halus. RS3 adalah RS yang paling banyak dijumpai, merupakan fraksi pati dan umumnya sebagai retrogradasi amilosa selama proses pendinginan pada gelatinisasi pati. Secara kimiawi, fraksi pati yang tahan terhadap pemanasan maupun enzim pencernaan, umumnya hanya dapat terdispersi dengan menggunakan KOH atau dimetil sulfooksida (Asp dan Bjorck 1992). RS yang tahan terhadap enzim amilase pada pankreas dapat ditentukan sesuai rumus:

$$RS1 = TS - (RDS + SDS) - RS2 - RS3$$

$$RS2 = TS - (RDS + SDS) - RS1 - RS3$$

$$RS3 = TS - (RDS + SDS) - RS2 - RS1$$

RS4 merupakan RS yang terbentuk dari ikatan selain -(1-4) atau -(1-6). Beberapa cara untuk memodifikasi pati disajikan pada Tabel 2.

Proses Produksi

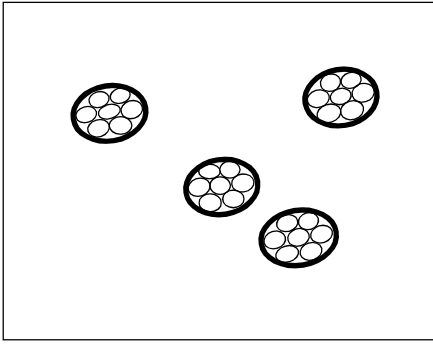
Proses fisik

Proses pemanasan dan pendinginan dapat memengaruhi karakteristik RS. Proses produksi RS dapat dilakukan pada suhu di atas suhu gelatinisasi dan secara simultan dikeringkan dengan alat pengering seperti pengering tipe drum (*drum drier*) maupun *extruder*. Proses produksi RS yang optimal adalah pada suhu gela-

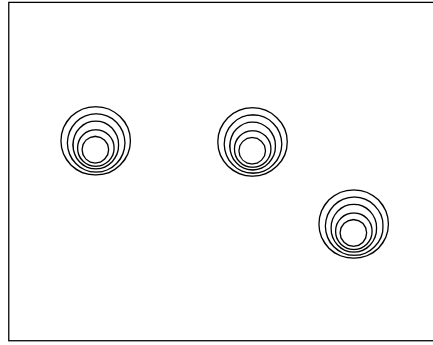
Tabel 1. Beberapa tipe pati termodifikasi serta sifat dan pemanfaatannya untuk pangan.

Tipe pati	Sifat	Pemanfaatan
Pati prigelatinisasi	Larut dalam air dingin, bahan pengisi	Sup instan, puding instan, saus campuran <i>bakery</i> , makanan beku
Pati hidrolisis asam	Viskositas rendah, retrogradasi tinggi, gel kuat	<i>Gum</i> , permen, formulasi pangan cair
Dekstrin	Bahan pengikat, enkapsulasi	Permen, pengembang, perisa, rempah, dan minyak
Pati teroksidasi	<i>Stabilizer</i> , perekat, pengegel, penjernih	Formulasi pangan, <i>gum</i> , permen
Pati eter	<i>Stabilizer</i>	Sup, puding, makanan beku
Pati ester	<i>Stabilizer</i> , bahan pengisi, penjernih	Permen, emulsi
Pati reaksi silang	Bahan pengisi, <i>stabilizer</i> , penentu tekstur	Pengisi <i>pie</i> , roti, makanan beku, <i>bakery</i> , puding, makanan instan, sup, saus salad, saus

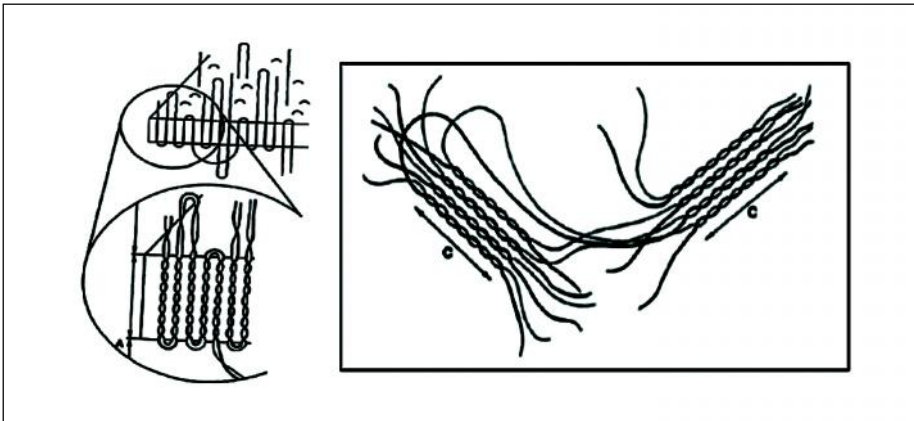
Sumber: Hustiany (2006).



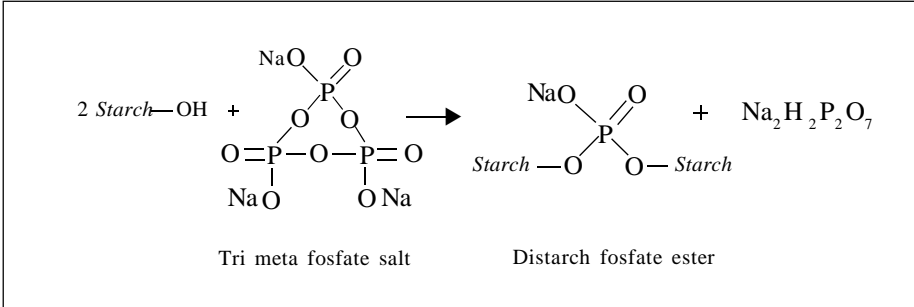
Gambar 3. Struktur pati tahan cerna tipe RS1 (Salijata et al. 2006).



Gambar 4. Struktur pati tahan cerna tipe RS2 (Salijata et al. 2006).



Gambar 5. Struktur pati tahan cerna tipe RS3 (Salijata et al. 2006).



Gambar 6. Struktur pati tahan cerna RS4 (Salijata et al. 2006).

Tabel 2. Klasifikasi pati tahan cerna (resistant starch, RS), bahan baku dan faktor yang memengaruhinya.

Tipe RS	Proses	Sumber bahan baku	Proses produksi
RS1	Perlakuan fisik	Seluruh atau hasil penghancuran biji	Penggilingan, pengunyahan
RS2	Granula resisten, kristal tipe B, dihidrolisis dengan α -amilase	Kentang, nenas, leguminosa, jagung kaya amilosa	Pemasakan
RS3	Retrogradasi pati	Kentang masak, roti, emping jagung, pangan dengan pemasakan ulang	Pengaturan kondisi proses
RS4	Modifikasi kimia	Roti, <i>cake</i>	Modifikasi fisik dan kimia

Sumber: Nugent (2005).

tinisasi pati, yaitu 120°C selama 20 menit, yang diikuti dengan proses pendinginan pada suhu ruang (Garcia-Alonso *et al.* 1999). Gel pati kemudian didinginkan pada suhu -20°C dan dikeringkan pada suhu 60°C sebelum dihancurkan. Beberapa perlakuan fisik dapat dilakukan untuk menghasilkan RS3.

Proses gelatinisasi, propagasi, dan perlakuan panas dibutuhkan untuk memproduksi pati yang memiliki kalori rendah terkait dengan daya tahan cerna selama proses pencernaan. Suhu yang digunakan pada umumnya di atas titik leleh kristal amilopektin dan di bawah titik leleh enzim RS (140°C) untuk menghasilkan RS3 (Haynes *et al.* 2000).

Pemasakan dengan menggunakan uap (*steam cooking*) dapat digunakan dalam proses pengolahan pati leguminosa yang memiliki RS dengan daya tahan cerna cukup tinggi (19–31%) (Tovar dan Melito 1996). Proses pengolahan RS dengan menggunakan uap bertekanan tinggi akan menghasilkan RS yang memiliki daya tahan cerna 3–5 kali lebih besar dari bahan bakunya.

Autoclaving atau pemanasan dengan uap bertekanan tinggi dapat meningkatkan RS 1% lebih tinggi dibanding bahan bakunya pada gandum (Siljestrom dan Asp 1985). Proses pengolahan dengan menggunakan autoklaf dapat meningkatkan RS gandum dari 6,20% menjadi 7,80% setelah tiga kali proses pemasakan atau pendinginan (Bjorck dan Nyoman 1987). Ranhotra *et al.* (1991) menyatakan, proses *autoclaving* dapat meningkatkan RS tiga kali lebih banyak pada tepung roti serta empat kali lebih banyak pada tepung produk *pastry*. Menurut Sievert dan Pomeranz (1989), penggunaan enzim RS selama proses *autoclaving* dan pendinginan menghasilkan rendemen RS tertinggi, yaitu 21,30% pada pati Amilo-maize VII (kadar amilosa 70%).

Secara komersial, pembuatan RS dengan menggunakan proses *autoclaving* dapat diaplikasikan pada pati jagung, kentang maupun leguminosa, yang salah satu produknya ditujukan untuk anak usia 3–8 tahun dalam bentuk puree (Siljestrom dan Bjorck 1990). Perlakuan panas dengan menggunakan autoklaf umumnya dilakukan pada suhu 121°C dengan kombinasi pendinginan bertahap untuk produksi amilase-RS dari pati yang mengandung amilosa cukup tinggi. Perlakuan suhu yang digunakan bervariasi, yaitu 110°C (Berry 1986), 121°C

(Berry 1986; Bjorck dan Nyoman 1987; Sievert dan Pomeranz 1989; Sievert dan Wursch 1993), 127°C (Berry 1986; Bjorck dan Nyoman 1987), 134°C (Berry 1986; Bjorck dan Nyoman 1987; Sievert dan Pomeranz 1989), atau 148°C (Sievert dan Pomeranz 1989) untuk waktu proses 30–60 menit.

Parboiling merupakan salah satu tahap pemanasan awal pati sebelum perlakuan pengolahan lebih lanjut. Hasil penelitian Marsono dan Topping (1999) menunjukkan, kandungan RS beras dapat ditingkatkan melalui proses *parboiling*. RS juga dapat ditingkatkan melalui proses pendinginan maupun pembekuan.

Baking (pemanggangan) dapat meningkatkan RS. Westerlund *et al.* (1989) menyatakan, proses pembuatan roti menghasilkan bagian yang lembut (*crumb*) di bagian dalam dan bagian yang keras (*crust*) di bagian luar dengan RS yang berbeda-beda. Kandungan RS tertinggi diperoleh pada proses pengembangan dan RS terendah pada tahap pembakaran selama 35 menit. Proses pemanggangan yang optimal untuk mendapatkan RS yang tinggi yaitu pada suhu rendah dengan waktu proses yang lebih lama (Liljeberg *et al.* 1996).

Ekstrusi. Proses pengolahan pati dengan perlakuan suhu (90, 100, 120, 140, atau 160°C), kadar air (20%, 25%, 30%, 35%, atau 40%), dan kecepatan mesin pengepres (60, 80, atau 100 rpm) dapat menghasilkan RS3. Kombinasi perlakuan dengan cara penyimpanan pada suhu 4°C selama 24 jam sebelum pengeringan dapat meningkatkan kadar RS3 (Faraj *et al.* 2004). Untuk optimasi proses, kompleks amilosa-lemak dapat meningkatkan RS pada produk ekstrusi dari pati jagung.

Irradiasi microwave dapat memengaruhi struktur pati, yang semula tidak larut berubah menjadi larut. Namun secara kuantitatif, cara tersebut tidak memengaruhi kadar RS (Marconi *et al.* 2000).

Modifikasi kimia

Proses produksi RS, selain dengan proses fisik, juga dapat dilakukan melalui modifikasi kimia, antara lain pati hidroksipropil, pati adipat, pati asetat, dan pati fosforilat. Modifikasi lainnya yaitu pati ikatan silang, pati esterifikasi, pati hidroksietilat, pati hidroksipropilat, pati kationik, pati anionik, pati nonionik, pati zwitterions, dan pati suksinat (Wurzburg 1989).

Proses produksi RS yang sederhana dapat dilakukan dengan perlakuan asam. Perlakuan asam dengan perbandingan pati dari HCl 160 : 1 pada suhu 90°C selama 1 jam dapat menghasilkan RS 49,50% (Tester *et al.* 2004). Pati pirodekstrin dapat menurunkan kemampuan enzim yang menghidrolisis pati melalui mekanisme ikatan glikosidik sehingga menurunkan daya cerna enzim amilase dan malto-oligosakarida pada usus halus. Proses produksi RS juga dapat dilakukan melalui modifikasi HCl 1% (w/w) pada suhu 25°C selama kurang lebih 78 jam yang menghasilkan RS 35%. Modifikasi kimia dengan kombinasi perlakuan panas dapat menghasilkan RS hingga 63,20%. Dewasa ini, proses pirodekstrin banyak digunakan dalam produksi RS dibanding proses modifikasi ikatan silang (Laurentin dan Edwards 2004).

Modifikasi kimia juga dapat dilakukan dengan menggunakan perlakuan asam klorida 0,15% (basis kering) dan ortofosfor atau asam sulfur 0,17% (Wurzburg 1989). Secara komersial, kombinasi penggunaan bahan kimia dan pemanasan dapat dilakukan dengan menambahkan asam dan pengadukan. Pati asam dapat dikeringkan lebih lanjut dengan menggunakan alat pengering semprot (*spray drier*) untuk tahapan hidrolisis dan transglukosidasi.

Modifikasi ikatan silang dapat dilakukan dengan metode enzimatis maupun penambahan bahan kimia (Haynes *et al.* 2000). Bahan kimia yang digunakan antara lain yaitu natrium trimetafosfat, fosfor oksiklorida, atau campuran asam asetat anhidrat dan asam adipat. Ikatan silang yang dibentuk dengan adanya penambahan grup sulfonat dan fosfat akan meningkatkan gugus hidroksil sehingga tahan terhadap serangan amilolitik yang terjadi pada molekul pati (Hamilton dan Paschall 1967). *Distarch phosphate* yang mengandung 0,40–0,50% fosfor dapat menghasilkan SDS dan RS4 (Woo *et al.* 1999). Modifikasi kimia dapat menghasilkan pati dengan SDS 13–69% dan RS4 18–87%. *Distarch phosphate* merupakan salah satu RS dari pati jagung yang memiliki kadar amilosa tinggi serta digunakan sebagai bahan tambahan makanan (E1413) di Uni Eropa.

Proses biokimia

Proses produksi RS secara biokimia dilakukan dengan menambahkan enzim atau mikroba penghasil enzim.

Prinsip dasar penggunaan enzim untuk produksi RS yaitu mengubah struktur pati sehingga diperoleh pati yang banyak mengandung amilose. Proses tersebut dapat dilakukan dengan cara mengubah struktur amilopektin dengan glukano-transferase untuk meluruskan rantai, atau mengubah ikatan cabang menjadi lurus seperti struktur amilosa. Fragmen amilosa tersebut selanjutnya dapat dikristalisasi untuk digunakan sebagai RS. Enzim berfungsi memecah rantai sehingga menjadi lebih pendek. Semakin sedikit rantai yang berukuran panjang, daya tahan cerna pati akan meningkat. Pati jagung yang dimodifikasi dengan glukano-transferase mengandung sedikitnya 35% *Degree* polimerisasi 35 (DP35).

Reaksi enzimatis dapat diperoleh melalui proses reaksi amilolitik maupun dengan degradasi menggunakan asam. Salah satu contoh degradasi pati yaitu maltodekstrin dengan cara degradasi parsial α -amilase. Tahapan utama reaksi enzimatis meliputi pengkondisian pati, penambahan enzim, inaktivasi enzim, dan pengeringan. Beberapa enzim yang dapat digunakan yaitu isoamilase dan pululanase. Modifikasi proses lainnya yaitu dengan cara pembentukan maltodekstrin (DE < 10, terutama DE < 5) dilarutkan dalam air, pengaturan PH optimal untuk enzim, penambahan enzim, pencampuran dan inkubasi, inaktivasi enzim, pencampuran, pengeringan dengan pengering semprot, dan penggilingan pati sampai ukuran tertentu.

Proses produksi tepung secara enzimatis dapat menghasilkan RS 50%. Tahapan prosesnya meliputi pembuatan substrat dengan rasio 1:2, pemanasan dengan autoklaf pada suhu 100°C, pendinginan, penambahan enzim amilase, deaktivasi enzim pada suhu 100°C, pencucian, dan pengeringan (Pomeranz dan Sievert 1990). Modifikasi secara enzimatis dapat dilakukan secara optimal hingga rendemen RS berkisar antara 55–60% dengan tingkat polimerisasi 10–35 serta suhu puncak 115°C atau berkisar 90–114°C.

Karakteristik Produk

Granula RS dapat diproduksi melalui cara yang unik dengan memanfaatkan bahan tambahan lain seperti enzim, serat makanan, distribusi berat molekul yang spesifik, penggunaan suhu tinggi, serta penggunaan suhu gelatinisasi (Delta H) yang

tinggi sebagai indikasi kesempurnaan proses. Pati RS dapat diproduksi dari pati yang mengandung amilose minimal 40% dengan perlakuan panas. Pada kadar air tertentu, pati dirombak serta dicerna pada bagian amorfous (yang tidak beraturan) dengan menggunakan enzim α -amilase atau bahan kimia.

Salah satu karakteristik RS dapat diketahui melalui berat molekul, dan dapat dikategorikan sebagai *heat treated starch*, *highly resistant heat-treated starch*, dan *highly resistant starch* (Gambar 7). Granula RS pada umumnya mempunyai *total dietary fiber* (TDF) 20–50%. Karakteristik RS dibandingkan dengan produk hidrokoloid lainnya disajikan pada Tabel 3.

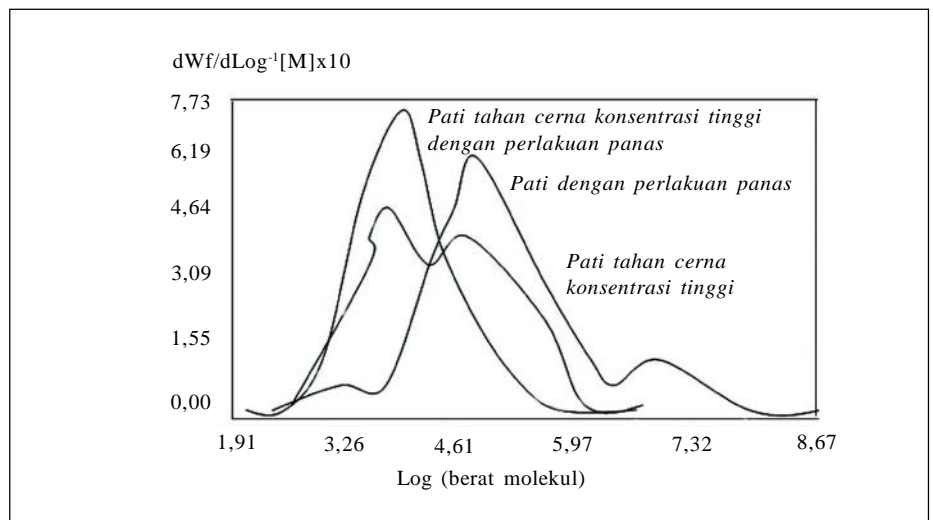
Nilai Fungsional

RS banyak dikonsumsi karena nilai fungsionalnya. Hidrolisis RS oleh enzim pencernaan umumnya membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga proses produksi glukosa menjadi lebih lambat. Hal ini selanjutnya berkorelasi dengan respons plasma glisemik (Raben *et al.* 1994). Secara tidak langsung, RS mempunyai nilai fungsional bagi penderita diabetes.

RS2 umumnya menghasilkan energi yang lebih rendah dibandingkan dengan tepung. Nilai energi RS berkisar antara 2–3 kalori (8–12 kJ), sedangkan tepung menghasilkan energi 4 kalori (16 kJ), bergantung pada proses metabolismenya. RS juga banyak dimanfaatkan sebagai sumber serat. Institut Kedokteran di Amerika Serikat mensyaratkan asupan sumber serat 38 g/hari untuk laki-laki dewasa dan 25 g/hari untuk perempuan dewasa. Di negara lain, asupan serat makanan rata-rata disyaratkan 25–30 g/hari.

RS mengandung cukup banyak amilosa sehingga mempunyai efek yang baik bagi saluran pencernaan dan metabolisme tubuh dalam proses manajemen glisemik dan energi. Secara garis besar, RS mempunyai tiga sistem terkait dengan efek metabolisme dan nilai fungsional dalam tubuh, yaitu sebagai bahan untuk fortifikasi serat, penurunan kalori, dan oksidasi lemak.

Sebagai bahan untuk fortifikasi serat, RS dapat diperoleh dengan cara mengonsumsi bahan pangan sumber RS, seperti roti, biskuit, kembang gula, pasta, dan sereal. Pada tahun 2003, WHO mendeklarasikan bahwa serat pangan dapat



Gambar 7. Hubungan perlakuan suhu terhadap berat molekul pati tahan cerna (Yong-cheng dan Roger 2003).

Tabel 3. Karakteristik pati tahan cerna dibandingkan dengan produk hidrokoloid lainnya dengan metode oven.

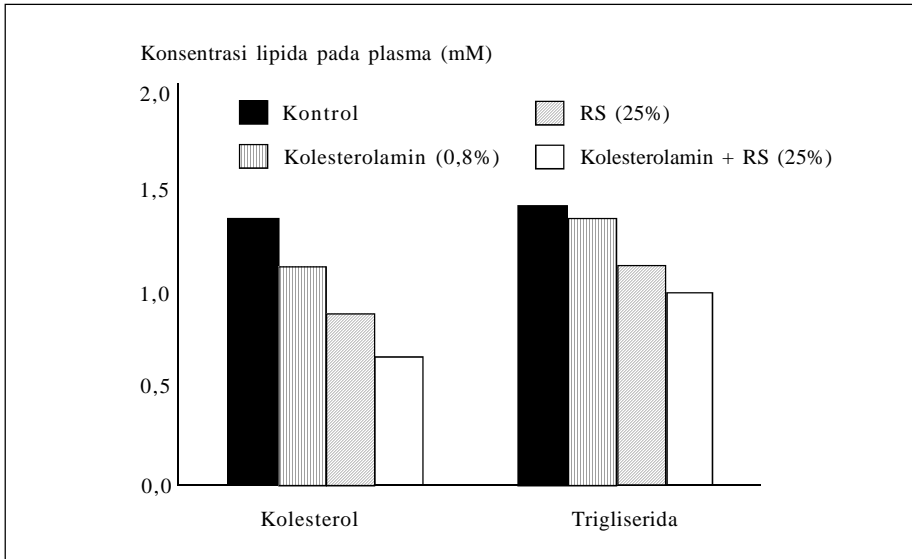
Hidrokoloid	Total serat pangan (%)	SV95	SV95 air/minyak	Kadar air	Pati/lemak
Pati tahan cerna-ikatan silang (kontrol)	68,1	2,8	3,0	6,4	10,6
K-Karagenan	75,8	2,8	3,0	6,8	11,0
K-Karagenan/Locust gum dari kacang-kacangan (1:1)	72,7	3,4	2,6	4,0	13,4
Xantan/Locust gum dari kacang-kacangan (1:1)	58,1	20,0	4,0	0	16,0
Pektin berkadar metoksil tinggi	70,9	3,0	3,2	6,4	10,4
Pektin berkadar metoksil rendah	71,3	3,4	3,4	6,2	10,4
Karboksimetil selulosa	88,6	6,6	5,2	4,8	10,0
Natrium alginat	87,5	3,0	4,4	4,8	10,8
1-Karagenan	79,3	3,0	3,0	6,8	10,2
Tara gum	72,1	4,4	5,0	3,2	12,0
Hidroksipropil metil selulosa (HPMC)	69,6	3,4	3,0	4,4	12,6

Sumber: Woo *et al.* (2008).

menurunkan berat badan dan kegemukan. Hal ini terkait dengan pengendalian sistem hormon untuk mencerna makanan dan mengendalikan rasa lapar (WHO 2003; Slavin 2005).

Sebagai bahan untuk mereduksi kalori, RS dapat menurunkan energi lebih cepat dibandingkan dengan tepung maupun produk karbohidrat lainnya. RS alami menghasilkan energi 2–3 kkal/g (8–12 kJ/g), sedangkan tepung menghasilkan energi 4 kkal/g (16 kJ/g) (Behall dan Howe 1996; Aust *et al.* 2001).

Sebagai bahan untuk oksidasi lemak, RS dapat membakar lemak sehingga menurunkan jumlah lemak yang disimpan dalam tubuh. Hasil penelitian menunjukkan, mengonsumsi RS asal jagung dapat menaikkan oksidasi lemak. Hal ini terkait dengan proses metabolisme karbohidrat dan protein dalam tubuh (Higgins *et al.* 2004). Hasil penelitian Younes *et al.* (1995) dengan menggunakan tikus percobaan, menunjukkan bahwa RS memiliki kemampuan menurunkan kadar lemak seperti tertera pada Gambar 8.



Gambar 8. Efek penambahan pati tahan cerna dan kolesterolamin terhadap kandungan kolesterol dan trigliserida pada tikus percobaan (Younes *et al.* 1995).

Mengonsumsi RS juga dapat menurunkan kandungan gula darah. RS akan melepaskan energi pada usus halus dalam bentuk glukosa yang kemudian difermentasi di dalam usus besar. RS menghasilkan energi dengan proses yang cukup lambat sehingga tidak segera dapat diserap dalam bentuk glukosa. RS menurunkan efek glikemik serta sensitif terhadap hormon insulin sehingga dapat menurunkan potensi diabetes tipe 2.

RS alami juga dapat meningkatkan kesehatan usus besar terkait dengan proses pencernaan. RS juga memengaruhi mikroba yang terdapat dalam saluran pencernaan, terutama yang berhubungan dengan proses fermentasi dalam tubuh. Salah satu hasil metabolisme mikroba tersebut adalah butirir yang mempunyai efek antiinflamasi dan antikarsinogenik yang pada akhirnya dapat mencegah kanker pada usus besar (Toscani *et al.* 1988).

Pemanfaatan Produk

RS terdapat secara alami dalam produk makanan dan dapat digunakan dalam bentuk modifikasi serta ditambahkan dalam makanan. Beberapa produk pangan yang mengandung RS disajikan pada Tabel 4.

RS banyak dimanfaatkan pada produk makanan, terutama produk *edible*, produk sereal, batangan, pizza, pasta, salad,

Tabel 4. Komposisi pati tahan cerna pada beberapa produk makanan.

Produk	RS (%)
Padi	1
Tepung untuk roti	< 3–8
Roti dari tepung jagung	4
<i>Corn flakes</i>	3–4
Kentang masak	3
Beras	3–5
<i>Barley</i>	6–13
Roti <i>pumpernickel</i>	9–11
Kentang yang didinginkan, dipanaskan kembali	8
Kentang yang didinginkan	12
Produk kentang	18
Produk leguminosa	6–20
Roti dari pati jagung, kaya amilosa	24
Roti arepas (tepung jagung kaya amilosa)	30
Pati kentang hidroksi-propilated-drum drier	50

Sumber: Eliasson (1996).

dressing, bahan pengisi pai, bahan pengisi buah-buahan, krim, saus, produk susu, sirup, puding, *custard*, yoghurt, minuman, produk *bakery*, *muffin*, bagel, biskuit, *cookies*, pai, permen, gum, dan sup. RS juga digunakan dalam formulasi makanan dan minuman, seperti kue kering, roti, pai, mi, *brownies*, margarin rendah lemak, *snack*, krim, mayonaise, krim keju, yoghurt, *milk-shake*, es krim, salad beku, *cracker*, sereal, dan *snack* hasil ekstrusi.

Salah satu contoh pemanfaatan RS yaitu *cookies* kaya serat rendah lemak dengan komposisi tepung *pastry* 42,51%, gula 21,20%, *shortening* 21,91%, susu tanpa lemak 2,12%, garam 0,42%, pengembang (*baking powder*) 0,42%, *baking soda* 0,34%, air 14%, dan RS hidrokoloid 6,17%. Pemanfaatan RS lainnya yaitu untuk es krim rendah lemak yang mempunyai komposisi susu (3,30% lemak) 63,64%, krim (40% lemak) 12,95%, gula 8,57%, NFD 6,65%, sirup jagung (DE 42) 3%, RS 2,97%, *stabilizer* 0,25%, *sucralose* 0,01%, dan penambah rasa secukupnya (Woo *et al.* 2008).

Produk RS komersial yang cukup terkenal dan memiliki pangsa pasar yang semakin meningkat yaitu HI-Maize™ RS, di mana volume penjualannya meningkat sebanyak 33% pada tahun 2004. HI-Maize™ RS merupakan RS tipe 2 yang berbahan baku pati jagung yang mengandung amilosa cukup tinggi serta dimodifikasi menggunakan bahan kimia. HI-Maize™ RS diklaim sebagai bahan pangan untuk kesehatan karena kaya akan sumber serat pangan serta memiliki kandungan karbohidrat cukup rendah (nilai kalori rendah).

PROSPEK PATI TAHAN CERNA

Beberapa RS secara alami terdapat dalam makanan, yang dikonsumsi 3–10 g/hari. Berdasarkan *recommended daily intake* (RDA), asupan serat makanan dipersyaratkan sebanyak 25 g/hari. Salah satu RS yang cukup banyak digunakan yaitu *high amylose maize* (HAM).

RS dapat diperdagangkan dalam bentuk makanan sesuai dengan rekomendasi yang telah ditentukan. Untuk pengembangan, terutama untuk tujuan kesehatan, perlu dilakukan pengujian secara klinis terkait dengan keamanan produk (Jay 2004).

Penggunaan RS untuk kesehatan berkisar 20 g/hari. Hal ini sangat terkait dengan proses produksi dan tujuan pemanfaatannya. Diprediksi konsumsi RS berkisar 30–40 g/hari (Baghurst *et al.* 2001). Konsumsi RS di India dan China berkisar antara 10–18 g/hari (Platel dan Shurpalekar 1994; Muir *et al.* 1998).

Berdasarkan penelitian, RS hasil pengolahan dengan degradasi retrogradasi dapat digunakan sebagai bahan tambahan makanan dengan kisaran 10–20%

(w/w). RS tersebut umumnya ditambahkan pada biskuit, *toast*, susu, dan lainnya.

Data permintaan produk pati tahan cerna belum tersedia karena masih rendahnya tingkat kesadaran masyarakat akan pentingnya mengonsumsi makanan yang memenuhi syarat kesehatan. Namun, dengan ditemukannya teknologi proses pengolahan RS dan manfaat fungsionalnya bagi kesehatan diharapkan dapat memberikan suatu wacana untuk pengembangan RS lebih lanjut.

KESIMPULAN

RS merupakan produk pati termodifikasi yang secara garis besar terbagi menjadi RS1, RS2, RS3, dan RS4. RS dapat diproduksi dari bahan baku tanaman penghasil pati yang secara genetis memiliki kandungan amilosa tinggi.

Proses produksi RS disesuaikan dengan tipe RS yang akan dihasilkan. Secara garis besar, terdapat tiga proses

produksi RS, yaitu modifikasi fisik, kimia, dan biokimia. Masing-masing proses tersebut akan memengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan.

RS memiliki nilai fungsional untuk fortifikasi serat, mereduksi kalori, dan mengoksidasi lemak. RS memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional bagi kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asp, N.G. 1992. Resistant starch. Proceeding of the Second Plenary of EURESTA: European FLAIR Concerted Action No. 11 on Physiological Implications of the Consumption of Resistant Starch in Man. Eur. J. Clin. Nutr. 46 (Suppl 2): S1.
- Asp, N.G. and I. Bjorck. 1992. Resistant starch. Trends Food Sci. Technol. 3(5): 111–114.
- Atichokudomchai, N., S. Shonbngob, P. Chinachoti, and S. Varavinit. 2001. A study of some physicochemical properties of high-crystalline tapioca starch. Starch/Stärke 53: 577–581.
- Atichokudomchai, N., S. Varavinit, and P. Chinachoti. 2002. Gelatinization transitions of acid-modified tapioca starches by differential scanning calorimetry (DSC). Starch/Stärke 54: 296–302.
- Atichokudomchai, N. and S. Varavinit. 2003. Characterization and utilization of acid-modified cross-linked tapioca starch in pharmaceutical tablets. Carbohydrate Polymers 53: 262–270.
- Aust, L., G. Dongowski, U. Frenz, A. Taufel, and R. Noack. 2001. Estimation of available energy of dietary fibres by indirect calorimetry in rats. Eur. J. Nutr. 40(1): 23–29.
- Baghurst, K., P.A. Baghurst and S.J. Record. 2001. Dietary fiber, nonstarch polysaccharide and resistant starch intakes in Australia. In: G.A. Spliller, (Ed). CRC handbook of dietary fiber in human health. Boca Raton, Fla: CRC Press. p. 583–591.
- Behall, K.M. and J.C. Howe. 1996. Resistant starch as energy. J. Am. Coll. Nutr. 15(3): 248–254.
- Belitz, H.D. and W. Grosch. 1999. Food Chemistry. Springer Verlag, Berlin.
- Berry, C.S. 1986. Resistant starch. Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. J. Cereal Sci. 4: 301–314.
- Bjorck I.M. and Nyoman M.E. 1987. *In vitro* effects of phytic acid and polyphenols on starch digestion and fiber degradation. J. Food Sci. 52: 1588–1994.
- Boyer and J.C. Shanon. 1983. Plant breeding. Plant Breed. Rev. 1139.
- Chaplin, M. 2002. Starch. <http://www.sbu.ac.uk>. [25 March 2003].
- Eliasson, A.C. 1996. Carbohydrates in Foods. University of Lund, Swedia.
- Englyst, H.N., H.S. Wiggins, and J.H. Cummings. 1982. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. Analyst. 107: 307–318.
- Englyst, H.N., S.M. Kingman, and J.H. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur. J. Clin. Nutr. 46: S33–S50.
- Faraj, A., T. Vasanthan, and R. Hoover. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. Food Res. Int. 37(5): 517–525.
- Garcia-Alonso, A., A. Jimenez-Escrig, N. Martin-Carron, L. Bravo, and F. Saura-Calixto. 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. Food Chem. 66: 181–187.
- Hamilton, R.M. and E.F. Paschall. 1967. Production and uses of starch phosphates. p. 351–365. In R.L. Whistler, E.F. Paschall (Ed.), Starch: Chemistry & Technology. Vol. II. Academic Press, New York and London.
- Haynes, L., N. Gimmler, J.P. Locke, M.R. Kweon, L. Slade, and H. Levine. 2000. Process for making enzyme-resistant starch for reduced-calorie flour replacer. US Patent 6,013,299. 11 January 2000. Nabisco Technology Co., Wilmington, Del.
- Higgins, J.A., D.R. Higbee, W.T. Donahoo, I.L. Brown, M.L. Bell, and D.H. Bessesen. 2004. Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. Nutr. Metabolism 1: 8.
- Hustiany, R. 2006. Modifikasi Asilasi dan Suksinilasi Pati Tapioka sebagai Bahan Encapsulasi Komponen Flavor. Disertasi, Institut Pertanian Bogor.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch with retention of the granular structure: Review. J. Agric. Food Chem. 46(8): 2895–2905.
- Jay, M.G. 2004. Resistant starch: Safe intakes and legal status. J. AOAC Int. 87(3): 733–739.
- Khatijah, I. 2000. Effect of reaction pH and concentration of phosphorus oxychloride on cross-linking of tapioca starch (abstract). J. Trop. Agric. Food Sci. 28: 95–100.
- Laurentin, A. and C.A. Edwards. 2004. Differential fermentation of glucose-based carbohydrates *in vitro* by human faecal bacteria. A study of pyrodextrinised starches from different sources. Eur. J. Nutr. 43(3): 183–189.
- Liljeberg, H., A. Akerberg, and I. Bjorck. 1996. Resistant starch formation in bread as influenced by choice of ingredients or baking conditions. Food Chem. 56(4): 389–394.
- Liu, Z., L. Peng, and J.F. Kennedy. 2005. The technology of molecular manipulation and modification. Assisted by Microwaves as Applied to Starch Granules. Carbohydrate Polymers, 61: 374–378.
- Marconi E., S. Ruggeri, M. Cappelloni, D. Leonardi, and E. Carnovale. 2000. Related physicochemical, nutritional, and microstructural characteristics of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) following microwave cooking. J. Agric. Food Chem. 48(12): 5986–5994.
- Marsono, Y. dan D.L. Topping. 1999. Effects of particle size of rice on resistant starch and SCFA of the digesta in caecostomised pigs. Indonesia Food Nut Prog. 6(2): 44–50.
- Mcnaught, K.J., E. Maloney, and A.T. Knight. 1998. High amylose starch and resistant starch fractions. United States Patent 5714600.

- Muir, J.B., K.Z. Walker, and M.A. Kaimakamis. 1998. Modulation of fecal markers relevant to colon cancer risk: a high-starch Chinese diet did not generate expected beneficial changes relative to a Western-type diet. *Am J. Clin. Nutr.* 68: 372–379.
- National Starch. 2005. Esterified starch specification. www.universal_starch.com. [24 Agustus 2009].
- Nugent, A.P. 2005. Health properties of resistant starch. *Br. Nutr. Foundation Nutr. Bull.* 30: 27–54.
- Oates, C.G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Review. Trends Food Sci. Technol.* 8: 375–382.
- Platel, K. and K.S. Shurpalekar. 1994. Resistant starch content of Indian foods. *Plant Foods Human Nutr.* 45(1): 91–96.
- Pomeranz, Y. and D. Sievert. 1990. Purified Resistant Starch Products and Their Preparation. WO 9015147. 13 December 1990. Univ. of Washington.
- Raben, A., A. Tagliabue, N.J. Christensen, J. Madsen, J.U. Holst, and A. Astrup. 1994. Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response, and satiety. *Am. J. Clin. Nutr.* 60: 544–551.
- Ranhotra, G.S., J.A. Gelroth, K. Astroth, and G.J. Eisenbraun. 1991. Effect of resistant starch on intestinal responses in rats. *Cereal Chem.* 68(2): 130–132.
- Salijata, M.G., R.S. Singhal, and P.R. Kulkarni. 2006. Resistant starch-A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5: 1–17.
- Santayonan, R. and J. Wootthikanokkhan. 2003. Modification of cassava starch by using propionic anhydride and properties of the starch blended polyester polyurethane. *Carbohydrate Polymer* 51(1): 17–24.
- Slavin, J. L. 2005. Dietary fiber and body weight. *Nutrition* 21(3): 411–418.
- Shi, Y.C., X.M. Cui, A.G. Birkett, and M. Thatcher. 2006. Resistant starch prepared by isoamylase debranching of low amylose starch. US Patent Office, Pat No. 7081261.
- Sievert, D. and Y. Pomeranz. 1989. Enzyme-resistant starch II. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical and microscopic methods. *Cereal Chem.* 66(4): 342–347.
- Sievert, D. and P. Wursch. 1993. Thermal behavior of potato amylase and enzyme-resistant starch from maize. *Cereal Chem.* 70: 333–338.
- Siljestrom, M. and N.G. Asp. 1985. Resistant starch formation during baking. Effect of baking time and temperature and variation in the recipe. *Z Lebensm Unters Forsch* 4: 1–18.
- Siljestrom, M. and I. Bjorck. 1990. Digestible and indigestible carbohydrates in autoclaved legumes, potatoes, and corn. *Food Chem.* 38: 145–152.
- Tester, R.F., J. Karkalas, and X. Qi. 2004. Starch structure and digestibility. Enzyme-substrate relationship. *World Poultry Sci. J.* 60(2): 186–195.
- Toscani, A., D.R. Soprano, and K.J. Soprano. 1988. Molecular analysis of sodium butyrate-induced growth arrest. *Oncogene Res.* 3(3): 223–238.
- Tovar, J. and C. Melito. 1996. Steam-cooking and dry heating produce resistant starch in legumes. *J. Agric. Food. Chem.* 44(9): 2642–2645.
- Varavinit, S., N. Chaokkasem, and S. Shobsngob. 2001. Studies of flavor encapsulation by agents produced from modified sago and tapioca starches. *Starch/Starke* 53: 281–287.
- Westerlund, E., O. Theander, R. Andersson, and P. Aman. 1989. Effects of baking on polysaccharides in white bread fractions. *J. Cereal Sci.* 10(2): 149–156.
- WHO. 2003. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. WHO/FAO Expert Consultation, WHO Technical Report Series 916.
- Woo, K.S., M.S. Shin, and P.A. Seib. 1999. 49 Cross-linked, type RS (4) resistant starch: Preparation and properties. AACC Annual Meeting, 31 October–3 November 1999. Dept. of Grain Science and Industry, Kansas State Univ. Manhattan, Kans.
- Woo K., S. Bassi, C.C. Maningat, L. Zhao, Y.H. Zheng, L. Nie, M. Parker, S. Ranjan, J. Gaul, C.T. Dohl, G.J. Stempien. 2008. Resistant starch-hydrocolloid blends and uses thereof. US Patent 20080233260.
- Wurzburg, O.B. 1989. Modified Starches: Properties and Uses. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Yong-cheng, S. and J. Roger. 2003. Highly resistant granular starch. United States Patent. 6664389.
- Younes, H., M.A. Levrat, C. Demigne, and C. Remesy. 1995. Resistant starch is more effective than cholestyramine as a lipid-lowering agent in the rat. *Lipids* 30(9): 847–853.