

RESISTANT STARCH : PEMBENTUKAN, METABOLISME DAN ASPEK GIZI-NYA

Y. Marsono¹⁾

Abstract

"Resistant starch (=RS)" is defined as the sum of starch and products of starch degradation not absorbed in the small intestine of healthy individuals. The presence of RS can be influenced by some factors including processing, the type of starch (amylose or amylopectin), the physical state of the starch (degree of hydration, particle size) and the presence of other components (i.e. lipids and fiber). In the large intestine, RS is fermented (as dietary fiber) by anaerobic bacteria. The major end product of fermentation are Short Chain Fatty Acids (SCFAs: acetate, propionate and butyrate) and gases (CH₄, CO₂ and H₂). The important physiological effects of RS are due not to the RS itself but also the SCFAs. Among the physical properties of RS are increase the viscosity of the intestinal content, reduce the rate of small intestinal absorption and increase stool bulk and fecal weight. Butyrate which is one of the main end products of fermentation is believed to protect against colorectal cancer while propionate has been suggested to play a certain role in the lipid metabolism. SCFA is also known to decrease pH of the intestinal content which make the large intestine healthier.

Kata kunci : resistant starch, pencernaan makanan, manfaat

Pendahuluan

Dalam ilmu gizi dahulu diyakini bahwa pati dicerna dengan sempurna didalam usus halus manusia. Tetapi teori tersebut sekarang dikoreksi setelah banyak penelitian baik *in vitro* maupun *in vivo* menemukan bahwa tidak semua pati yang dikonsumsi dapat dicerna dengan sempurna. Kebanyakan makanan berkarbohidrat tinggi seperti sereal dan umbi-umbian diolah dengan pemanasan (dengan atau tanpa adanya air) sebelum dikonsumsi. Pemanasan pati disertai air berlebihan akan mengakibatkan pati mengalami gelatinisasi, suatu proses yang meliputi hidrasi dan pelarutan granula pati (Wursch, 1989). Tetapi pemanasan kembali serta pendinginan pati yang telah mengalami gelatinisasi tersebut dapat merubah struktur pati yang mengarah pada terbentuknya kristal baru yang tidak larut berupa pati terretrogradasi (*retrograded starch*). Gelatinisasi dan retrogradasi yang sering terjadi selama pengolahan bahan berpati dapat mempengaruhi pencernaan pati di dalam usus halus. Sebagai contoh sejumlah pati pada kentang, pisang dan kacang-kacangan (Fleming and Vose, 1979; Englyst and Cumming, 1986; McBurney *et al.*, 1988) serta berbagai produk olahan misalnya roti tawar dan *corn flakes* (Wolever *et al.*, 1986; Englyst and Cummings, 1985) ditemukan tidak tercerna dengan sempurna didalam usus halus manusia dan hewan yang ditandai dengan adanya pati dalam *digesta* (isi usus) di usus besar. Fraksi pati ini disebut pati tahan cerna

atau "Resistant starch" = RS (Englyst and Cummings, 1987a). Secara fisiologis, RS didefinisikan sebagai jumlah dari pati dan hasil pencernaan pati yang tidak diserap didalam usus halus individu yang sehat (Asp, 1992). Sedang secara analitis, RS didefinisikan sebagai pati yang tahan terhadap dispersi didalam air mendidih dan hidrolisis amilase pankreas dan pullulanase, tetapi dapat didispersi oleh KOH dan dihidrolisis oleh amiloglukosidase (Englyst and Cummings, 1987a).

Kenyataan bahwa tidak semua pati dapat dicerna sempurna di dalam usus besar telah mendorong Englyst *et al.* (1992) mengusulkan klasifikasi pati berdasarkan kecernaannya seperti terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Klasifikasi pati berdasar kecernaannya

Jenis	Terdapatnya	Kecernaan
Pati cepat cerna (<i>Rapidly digestible starch</i> = RDS)	Makanan berpati yang baru saja dimasak	Cepat
Pati lambat cerna (<i>Slowly digestible starch</i> = SDS)	Kebanyakan sereal/mentah	lambat tapi komplit
Pati tahan cerna (<i>Resistant starch</i> = RS):		
a. Pati yang secara fisik sulit dicerna (RS-1)	sereal/biji-bijian yang digiling tidak halus	tahan
b. Granula pati yang resisten (RS-2)	kentang mentah, pisang	tahan
c. Pati terretrogradasi (RS-3)	roti tawar, <i>corn flakes</i> , kentang rebus yang didinginkan	resisten

Englyst *et al.*, 1992.

Pembentukan Resistant starch

Keberadaan RS dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi proses pengolahan, type pati (amilosa atau amilopektin), keadaan fisik bahan (derajat hidrasi, ukuran partikel) serta adanya komponen lain misalnya lipida (British Nutrition Foundation, 1990).

1. Pengaruh proses pengolahan

Pada waktu pati dipanasi dengan adanya air yang berlebihan akan mengakibatkan gelatinisasi granula pati. Proses ini ditandai dengan terjadinya pengelembungan dan pelarutan pati yang tidak dapat balik (*irreversible*), dilanjutkan dengan kerusakan kristal molekul pati oleh panas dan lebih banyak air yang masuk dan membasahi granula (Juliano, 1985). Derajat gelatinisasi dipengaruhi oleh temperatur pengolahan dan kandungan air. Bila air tidak cukup selama proses pemanasan akan menghambat pengelembungan granula pati dan mengakibatkan pelarutan atau gelatinisasi terbatas atau tidak sempurna. Gelatinisasi pati dapat berubah dengan perubahan ukuran partikel pati (Marshall, 1992).

Hidrasi pati yang diikuti dengan pemasakan pada suhu tinggi serta pendinginan kembali terhadap granula pati terlarut dapat menyebabkan perubahan struktur yang mengakibatkan terbentuknya pati terretrogradasi, dimana rantainya saling sejajar dan berikatan satu dengan yang lain atau berikatan dengan komponen lain seperti protein (British Nutrition Foundation, 1990). Pati ini bersifat tidak larut dan lebih sulit diserang oleh enzim amilase. Snow dan O'Dea (1981) melaporkan bahwa pada sereal, pemasakan menaikkan pati yang terhidrolisis disebabkan oleh gelatinisasi pati sehingga lebih mudah diserang enzim atau lebih mudah dicerna. Tetapi, pendinginan atau pembekuan mendorong terbentuknya pati terretrogradasi yang dapat mempengaruhi pencernaan pati. Englyst dan Cummings (1987a) berpendapat bahwa pendinginan sesudah pemasakan akan mengubah keadaan fisik polisakarida sehingga menurunkan kecernaanya. Pembentukan RS selama pengolahan bahan berpati dipengaruhi oleh berbagai faktor misalnya, kandungan air bahan, pH, suhu pemanasan, jumlah pengulangan pemanasan dan pendinginan, pembekuan dan pengeringan (Englyst and Cummings, 1987a). Pemanasan diatas suhu gelatinisasi berpengaruh besar pada retrogradasi amilopektin (Fisher & Thompson, 1997). Perbedaan proses pengolahan dapat mengakibatkan perbedaan derajat rekristalisasi pati sehingga menghasilkan perbedaan RS.

Jumlah RS pada kebanyakan produk mentah umumnya sangat rendah, tetapi pengolahan dan penyimpanan dapat mengakibatkan kenaikan jumlah RS seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan RS beras dan nasi yang didinginkan dan dibekukan

PROSES	RS (g/100 g)
Beras	0,6
Nasi yang ditanak dengan <i>rice cooker</i> (RC)	2,4
Nasi RC yang disimpan dalam <i>refrigerator</i> 24 jam	5,6
Nasi RC yang disimpan dalam <i>freezer</i> 7 hari	3,9
Nasi yang ditanak dengan Oven <i>Microwave</i> (MW)	2
Nasi MW yang disimpan dalam <i>refrigerator</i> 24 jam	3,8
Nasi MW yang disimpan dalam <i>freezer</i> 7 hari	3,8

Marsono and Topping, 1993.

Gejala serupa juga dilaporkan oleh Eggum *et al.* (1993) yang meneliti beberapa varietas padi. IR-64 misalnya pada keadaan mentah kandungan RS-nya 1,0% sedang setelah masak (nasi) menjadi 1,8%, sedang untuk varietas IR-74 terjadi perubahan dari 1,4% (mentah) menjadi 2,8% (masak). Englyst dan Cummings (1987b) melaporkan bahwa kentang mentah dan kentang rebus tidak mengandung RS, tetapi bila kentang rebus disimpan pada suhu 40 °C selama dua jam terdapat RS sebanyak 0,66% sedang bila penyimpanan pada suhu 0 °C kandungan RS sebesar 1,86%. Bila kentang rebus tersebut dilakukan pengeringan beku diperoleh produk kering dengan kandungan RS 2,54%. Data ini semua menunjukkan bahwa pemanasan atau perebusan yang dikombinasi dengan proses lain dapat meningkatkan kandungan RS dari suatu bahan.

2. Pengaruh amilosa dan amilopektin

Pati tersusun dari dua macam molekul polisakarida yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer glukosa dengan ikatan α -(1-4) glukosidik sedang amilopektin juga merupakan polimer glukosa tetapi selain dengan ikatan α -(1-4) glukosidik juga terdapat percabangan dengan ikatan α -(1-6) glukosidik. Amilopektin umumnya merupakan penyusun utama kebanyakan granula pati, sedangkan amilosa hanya berkisar antara 15 sd. 25%, bahkan pada pati ketan (*waxy starch*) lebih kecil dari 1% (Wursch, 1989)

Ketahanan pati terhadap pencernaan didalam usus halus tidak hanya tergantung dari proses pengolahan tetapi juga tergantung pada struktur kimia dari pati. Granula pati yang kaya akan amilosa mempunyai kemampuan mengkristal yang lebih besar yang disebabkan oleh lebih intensifnya ikatan hidrogen. Akibatnya tidak dapat mengembang atau mengalami gelatinisasi secara lebih baik pada waktu pemasakan sehingga tercerna lebih lambat (Panlasigui *et al.*, 1991). Sebagai contoh kandungan RS

bahan yang kaya akan amilopektin dan amilosa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kandungan amilosa dan amilopektin memberikan perbedaan kandungan RS. Asp dan Bjorck (1992) menyatakan bahwa semakin tinggi kadar amilosa pati semakin tinggi pula kadar RS-nya. Pendapat tersebut sesuai pula dengan data yang dilaporkan oleh Pomeranz (1992), seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. RS bahan yang kaya akan amilosa dan amilopektin

Bahan	RS (%)	Referensi
Amilopektin yang diisolasi dari kentang mentah	0,7-0,9	Berry, 1986
Amilosa yang diisolasi dari kentang mentah	15,2-19,5	Berry, 1986
Tepung jagung waxy (ketan)	0,9-1,2	Berry, 1986
Tepung jagung amylo (kaya amilosa)	31,9-48,1	Berry, 1986
Beras varietas Calrose	0.6	Marsono and Topping, 1993
Beras varietas Doongara	1.2	Marsono and Topping, 1993
Beras ketan (kaya amilo-pektin)	0	Marsono and Topping, 1993

Tabel 4. Kandungan RS pada pati dengan berbagai kandungan amilosa

Jenis pati	Amilosa (%)	RS (%)
<i>Amylomaize VII</i>	70	21.3 ± 0.3
<i>Amylomaize V</i>	53	17.8 ± 0.2
Pati biji Pea	33	10.5 ± 0.1
Pati gandum	25	7.8 ± 0.2
Pati jagung	26	7.0 ± 0.1
Pati kentang	20	4.4 ± 0.1
Pati jagung ketan	<1	2.5 ± 0.2

Sumber : Pomeranz (1992).

3. Pengaruh ukuran partikel

Ukuran partikel makanan dapat mempengaruhi pencernaan pati. Semakin kecil ukuran partikel semakin tinggi rasio antara permukaan dan volume yang berarti akan semakin memperbesar kemungkinan kontak dan menaikkan serangan enzim sehingga menghasilkan pencernaan yang lebih besar. Studi-studi mengenai pengaruh ukuran partikel dari gandum, jagung dan oat terhadap kecepatan pencernaan *in vitro* menunjukkan bahwa hidrolisis pati oleh amilase pankreas lebih cepat dengan semakin kecilnya ukuran

partikel (Heaton *et al.*, 1988). Pengrusakan sel pada proses penggilingan kedelai mentah juga dilaporkan menurunkan pencernaan pati (Wursch *et al.*, 1986). Marsono (1993) melaporkan bahwa dengan teknik koleostomi, dapat diamati adanya perbedaan RS di dalam ujung kolon babi yang diberi diet beras tanak dengan ukuran partikel yang berbeda yaitu (41,9-53,6 mg/g) untuk beras utuh dan (9,9-18,7 mg/g) untuk tepung beras. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Marsono, *et al.* (1993) yang mengadakan penelitian dengan babi yang diberi diet dengan sumber serat berasal dari bekatul dan beras pecah kulit. Ukuran beras pecah kulit yang relatif lebih besar dibanding bekatul memberi sumbangan yang sangat berarti terhadap besarnya SCFA yang dihasilkan, mengindikasikan adanya substrat selain serat yaitu pati (RS) yang mengalami fermentasi di dalam kolon.

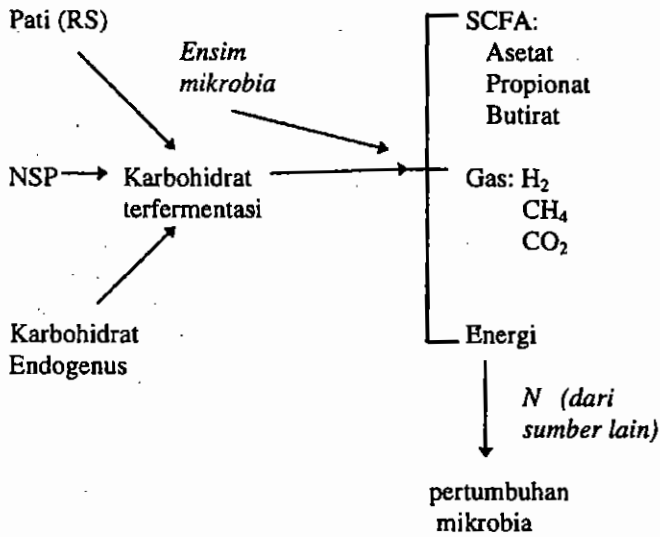
4. Pengaruh adanya senyawa lain

Di dalam jaringan tumbuh-tumbuhan biasanya granula pati diselubungi oleh bahan-bahan gel yang lain, misalnya serat pangan, lipida dan protein. Bahan-bahan ini dapat menghambat penetrasi amilase kedalam granula pati. Akan tetapi Eerlingen, *et al.*, (1994) melaporkan bahwa dalam gel pati gandum adanya gula (sukrosa, glukosa, ribosa dan manosa) justru menurunkan RS, yang diduga disebabkan oleh kenaikan mobilitas larutan. Jenkins *et al.*, (1987) melaporkan bahwa dalam cairan yang diambil dari ileum kandungan karbohidratnya (RS) berkorelasi positif dengan kandungan serat dalam diet. Hal ini menunjukkan bahwa adanya serat dapat menghambat pencernaan pati. Sambucetti dan Zuleta (1996) juga melaporkan bahwa beras *parboiled* mengandung RS 0,98% sedang beras pecah kulit *parboiled* (kandungan serat dan lipidnya lebih tinggi) mengandung RS sebesar 1,27%. Snow dan O'Dea (1981) berpendapat bahwa serat pangan dapat mempengaruhi pencernaan pati hanya bila serat tersebut menyebabkan penghalang secara fisik terhadap kontak amilase dengan pati. Studi pencernaan *in vitro* terhadap kompleks amilosa-lipid dan pati murni menunjukkan bahwa amilase kompleks kurang tercerna dibanding dengan amilosa murni (Czuchajowska *et al.*, 1991). Hal ini menunjukkan bahwa adanya lipid dapat mengakibatkan turunnya pencernaan pati, karena pembatasan kontak anatara pati dengan enzim. Unlu dan Faller (1998) melaporkan bahwa pada produk ekstrusi penambahan asam sitrat monohidrat dapat menaikkan RS, yang diduga disebabkan oleh adanya hidrolisis pati oleh asam tersebut, yang menghasilkan polimer pati yang lebih kecil tetapi kompak.

Metabolisme RS

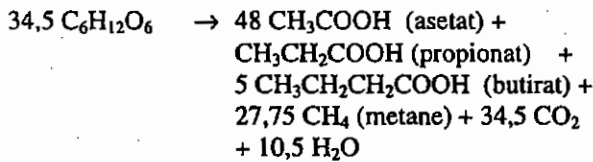
Seperti halnya serat pangan, setelah sampai di dalam usus besar RS merupakan substrat untuk fermentasi anaerob yang dilakukan oleh bakteri dan menghasilkan asam lemak rantai pendek (SCFA). Sementara ini dianggap bahwa fermentasi RS sama dengan serat pangan meskipun Weaver *et al.* (1992) menegaskan pentingnya flora dalam

menentukan produk akhir fermentasi, selain asal substrat. Skema fermentasi RS dan serat pangan di dalam usus besar dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Pemecahan karbohidrat (RS dan NSP) dalam usus besar (Englyst & Cummings, 1987a)

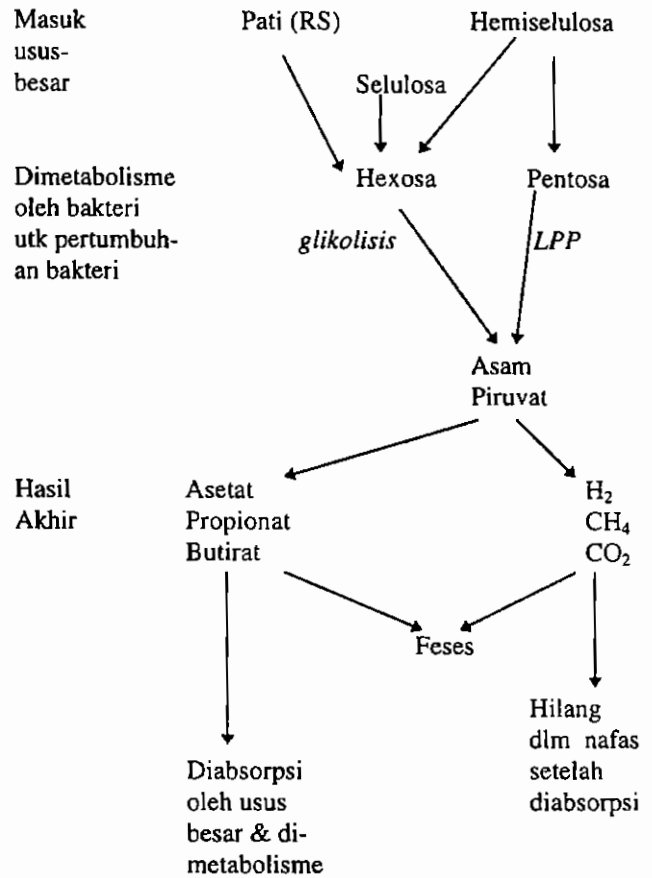
Secara sederhana Miller dan Wolin (1979) mengusulkan perubahan karbohidrat menjadi SCFA di dalam usus besar manusia, menurut reaksi sebagai berikut:



Dari reaksi ini jelas bahwa substrat yang mengalami fermentasi karbohidrat di dalam usus besar berupa heksosa. Pati yang lolos dari pencernaan di dalam usus halus (RS) akan mengalami fermentasi seperti tersebut diatas. McNeil (1984) mengusulkan reaksi metabolisme RS dan serat pangan seperti Gambar 2.

Suatu bukti bahwa pati mencapai usus besar (sebagai RS) dan difermentasi disana, adalah tingginya hidrogen dalam nafas orang yang mengkonsumsi diet tinggi RS (Muir *et al.*, 1993) serta pisang mentah yang juga kaya RS2 (Segal *et al.*, 1993). Data ini memberikan indikasi bahwa RS mengalami fermentasi didalam usus besar, antara lain menghasilkan gas H₂ yang diabsorpsi di dalam usus besar serta masuk dalam sistem peredaran darah lalu gas tersebut dilepaskan didalam paru-paru. Percobaan *in vivo* (Scheppach *et al.*, 1988) dan *in vitro* (Weaver *et al.*, 1992) menunjukkan bahwa pati merupakan substrat yang lebih baik dibanding serat larut untuk produksi asam butirat melalui fermentasi. Penelitian pada manusia yang dilakukan oleh Englyst *et al.* (1987) menunjukkan bahwa dalam *faeces volunteer* terdapat 29% butirat dari total SCFA-nya setelah mengkonsumsi pati, sedang bila mengkonsumsi

arabinogalaktan, xylan dan pektin masing-masing hanya 8%, 3 % dan 2%. Hal ini menunjukkan bahwa sangat besar kemungkinan banyaknya butirat pada *faeces volunteer* yang mengkonsumsi pati disebabkan oleh adanya RS yang cukup besar didalam usus besarnya.



Gambar 2. Metabolisme pati (RS) dan serat pangan di dalam usus besar (McNeil, 1984)

Aspek gizi Resistant starch

Karbohidrat yang dicerna dan diserap lambat menyebabkan pengurangan yang besar pada *response glukosa* (Jenkins *et al.*, 1986). Karbohidrat yang demikian juga menghasilkan perbaikan profil lipid yaitu penurunan kolesterol dan triasilgliserol (TAG) sehingga sangat baik untuk terapi penderita *hyperlipidaemia* (Fortvielle *et al.*, 1992; Wolever *et al.*, 1992). Banyak faktor yang mempengaruhi lambat dan tercernanya pati seperti telah diuraikan diatas. Efek dari pati yang tahan terhadap pencernaan didalam usus halus dapat mempengaruhi respon metabolik.

Pati dari leguminosa mempunyai sifat memiliki respon glisemik yang rendah, sehingga sangat baik untuk "pengobatan" penderita NIDDM. Rendahnya respon glisemik pada kacang-kacangan ini disebabkan oleh kandungan serat yang bersifat kental (*viscous*) yang

dipercayai menaikkan ketebalan lapisan antara makanan dan permukaan *brush-border* di dalam usus halus sehingga mencegah absorpsi zat gizi (O'Dea, 1990). Sementara Englyst *et al.*, (1992) menunjukkan bahwa kacang-kacangan mengandung pati yang secara fisik sulit dicerna (RS-1), granula pati yang tidak tergelatinisasi (RS-2) serta amilosa yang terretrogradasi (RS-3) yang kesemuanya itu menyumbang rendahnya respon *postprandial* bagi makanan yang mengandung kacang-kacangan. Disamping itu RS juga turut menyumbang dalam menurunkan glikemik respon pada kacang-kacangan karena sifatnya yang kental seperti halnya serat pangan larut air (*soluble fiber*). Sifat kental dari RS juga dapat menghambat pencernaan dan absorpsi karbohidrat di dalam usus halus. Hal ini perlu mendapat perhatian mengingat banyak industri makanan telah menggunakan sifat kental dan meruah (*bulky*) dari pati untuk berbagai tujuan, misalnya sebagai pengental, pelapis, perekat dan lain-lain (Zobel, 1984).

Pati memiliki sifat pengikatan seperti serat pangan sehingga pengaruhnya pada penyerapan zat gizi juga serupa dengan serat pangan. Sebagai contoh telah dilaporkan pada percobaan *in vitro* bahwa pati mempunyai kemampuan untuk mengikat asam empedu (Bianchini *et al.*, 1989). Hal ini dapat menyumbang penurunan kolesterol plasma karena semakin banyak empedu yang diikat dan dibuang bersama *faeces* berarti semakin sedikit empedu yang diresirkulasi ke liver. Dengan demikian diperlukan sintesis empedu yang lebih banyak. Karena bahan dasar empedu adalah kolesterol maka sintesis empedu yang besar tadi akan mengakibatkan pengurangan jumlah kolesterol yang besar pula sehingga akan menurunkan level kolesterol plasma.

Banyak teori menyatakan bahwa tingginya *prevalensi* penyakit kanker kolon berkaitan dengan rendahnya asupan serat pangan dan tingginya *intake* daging (Bingham, 1990). Namun, asupan serat pangan bangsa Jepang relatif kecil (11 g/hari), kenyataannya Jepang merupakan negara maju yang insiden kanker kolon-nya paling rendah. Kenyataan ini mungkin disebabkan oleh tingginya asupan pati (dikaitkan dengan tinggi RS) yang punya peran dalam perlindungan terhadap kanker kolon (Bingham, 1990). Hal ini didukung oleh data lain yang menunjukkan bahwa pada orang yang pencernaan dan absorpsi patinya sangat efisien, sehingga pati yang lolos mencapai kolon (RS) sedikit ternyata insiden kanker kolonnya lebih besar.

Pada tikus RS menaikkan volume *caecum* dan menurunkan pH. *Amylomaize* menaikkan SCFA tetapi pati kentang tidak memberikan efek serupa (Mallet *et al.*, 1988). Dengan demikian penurunan pH disebabkan oleh produksi asam selain SCFA, yaitu asam laktat. Telah dilaporkan bahwa asam laktat akan menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam (Cummings, 1984). Nampaknya, pati dari kentang dan *amylomaize* mengalami nasib yang tidak sama didalam kolon.

Efek laksatif dari berbagai jenis bahan tambahan dengan variasi kandungan RS telah dilaporkan secara singkat oleh Cummings *et al.* (1992), seperti terlihat pada Tabel 5.

Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa semakin besar kandungan RS pada suplemen, memberikan jumlah *faeces* yang semakin besar pula. Pada suplemen pati gandum + bekatul, tingginya *faeces* juga disebabkan oleh serat pangan yang terdapat didalam bekatul. Data ini didukung oleh laporan lain yang menyatakan bahwa RS juga menaikkan jumlah *faeces* (Hamaker, 1991), menurunkan pH kolon (Flourie *et al.*, 1986), menaikkan SCFA kolon dan SCFA *faeces* (Scheppach *et al.*, 1988). Efek-efek tersebut juga terlihat pada bekatul gandum yang kaya akan serat pangan (Kashtan *et al.*, 1992).

Tabel 5. Efek laksatif berbagai bahan tambahan (suplemen)

Suplemen	Jumlah (g/hari)	Bentuk pati	Berat <i>faeces</i> (g)
Pati gandum	102	tercerna	110
Pati gandum + bekatul	18	tercerna	201
Pati kentang	24	RS-2	145
Tepung pisang	30	RS-2	162
Maisena	19	RS-3	152

Cummings *et al.*, 1992.

Dengan demikian nampaknya RS mempunyai efek serupa dengan serat pangan pada manusia. Tetapi interaksi RS dan serat pangan belum banyak diteliti. Belum jelas apakah perbedaan RS mempunyai perbedaan efek. Interaksi RS dengan serat pangan juga belum banyak diketahui. Pertanyaan sangat penting yang muncul ialah: bagaimanakah efek fisiologis RS bila dibanding dengan serat larut dan serat tak larut ?

Telah dipercayai bahwa SCFA mempunyai banyak keuntungan dari segi metabolime dan kesehatan kolon. SCFA sangat cepat diabsorpsi dari lumen usus besar masuk ke mukosa disekitarnya dimana sebagian besar butir dioksidasi menghasilkan enersi. Sisa butir dan sebagian besar sisa SCFA yang lain masuk ke dalam pembuluh darah porta dan diangkut ke liver. Chen *et al.*, (1984) menyatakan bahwa asam propionat memainkan peranan dalam metabolisme lipid, sedang asam butirat diduga dapat mencegah kanker kolorektal antara lain karena kemampuannya menekan pembentukan sel abnormal (Cummings and Bingham, 1987).

Kesimpulan

Proses pengolahan pangan berpati dapat mengakibatkan terbentuknya RS, disamping faktor lain yaitu tingginya ratio amilosa terhadap amilopektin dalam bahan, ukuran bahan pada waktu masuk ke sistem pencernaan dan adanya komponen lain misalnya lipid dan serat yang dapat menghalangi kontak enzim pencerna dengan pati di dalam usus halus. Pati yang berhasil lolos kedalam usus besar (RS) mengalami fermentasi dengan bantuan mikroflora yang ada dalam uusus besar menghasilkan asam lemak rantai pendek

(SCFA) terutama asam asetat, propionat dan butirat serta gas (CH₄, CO₂ dan H₂). RS mengakibatkan *digesta* atau isi usus bersifat viskus dan menaikkan efek laksatif (jumlah feses besar). Salah satu hasil metabolisme RS yaitu asam butirat diketahui dapat mencegah kanker kolon sedang asam propionat mempunyai peran penting pada metabolisme lipid. Secara keseluruhan SCFA mampu menurunkan pH *faeces* sehingga juga berefek positif bagi kesehatan usus besar

Referensi

- Asp, N-G, 1992. Resistant Starch. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl.2):1
- Asp, N-G and Bjorck, I., 1992. Resistant Starch. In *Trends in Food Science and Technology 3*: Elsevier, London, pp. 111-4.
- Berry, C.S., 1986. Resistant starch : Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *J. Cereal Sci.* 4: 301-314.
- Bianchini, F., Caderni, G., Dolara, P., Fantetti, L. and Kriebel, D., 1989. Effect of dietary fat, starch and cellulose on fecal bile acids in mice. *J. Nutr.* 119: 1617-24.
- Bingham, S.A., 1990. Mechanisms and experimental and epidemiological evidence relating dietary fibre (non-starch polysaccharides) and starch to protection against bowel cancer. *Proceeding of the Nutrition Society* 49: 153-71.
- British Nutrition Foundation (BNF), 1990. Complex carbohydrates in foods. The report of the British Nutrition Foundation's Task force, Chapman and Hall, London.
- Chen, W-J. L., Anderson, J.W. and Jennings, D., 1984. Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 175: 215-218.
- Cummings, J.H. and Bingham, S.A., 1987. Dietary fibre, fermentation and large bowel cancer. *Cancer Surveys* 6: 601-621.
- Cummings, J.H., 1984. Colonic absorption: the importance of short chain fatty acids in man. *Scand. J. Gastroenterology* 102: A548.
- Cummings, J.H., Beatty, E.R., Kingman, S., Bingham, S.A. and Englyst, H.N., 1992. Laxative properties of resistant starches. *Gastroenterology* 102: A548.
- Czuchajowska, Z., Sievert, D. and Pomeranz, Y., 1991. Enzyme-Resistant starch IV. Effects of complexing lipids. *Cereal Chem.* 68(5): 537-542.
- Eerlingen, R.C., Van den Broeck, I., Delcour, J.A., Slade, L. and Levine, H., 1994. Enzyme-Resistant Starch. VI. Influence of sugars on resistant starch formation. *Cereal chem.* 71(5): 472-476.
- Eggum, B.O., Juliano, B.O., Perez, C.M. and Acedo, E.F., 1993. The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. *J. Cereal Sci.* 18: 159-170.
- Englyst, H.N. and Cummings, J.H., 1985. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 42: 778-787.
- Englyst, H.N. and Cummings, J.H., 1986. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 42-50
- Englyst, H.N. and Cummings, J.H., 1987a. Resistant Starch, a new food component: a classification of starch for nutritional purposes. In: Morton, I.D. (Ed.), *Cereals in A European Context*. Chichester: First European Conference on Food Science & Technology, Ellis Horwood, pp. 221-233
- Englyst, H.N. and Cummings, J.H., 1987b. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *Am. J. Clin. Nutr.* 45: 423-431.
- Englyst, H.N., Kingman, S.M. and Cummings, J.H., 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. In: Asp (ed): *Resistant Starch : Proceeding from the 2 nd plenary meeting of EURESTA*. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S33-S50.
- Englyst, H.N., Trowell, H., Southgate, D.A.T., Cummings, J.H., 1987. Dietary fiber and resistant starch. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 873-874.
- Fisher, D.K. and Thompson, D.B., 1997. Retrogradation of maize starch after thermal treatment within and above the gelatinization temperature range. *Cereal chem.* 74 (3): 344-351.
- Fleming, S.E. and Vose, J.R., 1979. Digestibility of raw and cooked starches from legume seeds using the laboratory rat. *J. Nutr.* 109: 2067-2075
- Flourie, B., Florent, C., Jouany, J.P., Thivend, P., Etanchaud, F. and Rambaud, J.C., 1986. Colonic metabolism of wheat starch in healthy humans. *Gastroenterology* 90: 111-9.
- Fortvielle, A.M., Rizkalla, S.w., Penforis, A., Acosta, M., Bornet, F.R.J. and Slama, G., 1992. The use of low glycaemic index foods improves metabolic control of diabetic patients over five weeks. *Diabetic Medicine* 9: 444-50.
- Hamaker, G.B., Rivera, K., Morales, E. and Graham, G.G., 1991. Effect of dietary fiber and starch on fecal composition in preschool children consuming maize, amaranth, or cassava flour. *J. Pediatric Gastr. and Nutr.* 13: 59-66.
- Heaton, K.w., Marcus, S.N., Emmett, P.M. and Balton, C.H., 1988. Particle size of wheat, maize, and oat test meal: effects on plasma glucose and insulin responses and on the rate of starch digestion in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.* 47: 675-682.

- Jenkins, D.J.A., Cuff, D., Wolever, M.S., Knowland, B., Thompson, L., Cohen, Z. and Prokipchuk, 1987. Digestibility of carbohydrate foods in an ileostomate: relationship to dietary fiber, *in vitro* digestibility and glycemic response. *Am. J. Gastroenterology* 82: 709-717.
- Jenkins, D.J.A., Jenkins, A.L., Thomas, M.S., Collier, G.R., Venket, R.a. and Thompson, L.U., 1986. Starchy foods and fibre: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. *Scand. J. Gastroenterology* 22: supp. 129: 132-41.
- Juliano, B.O., 1985. Polysaccharides, proteins and lipids of rice. In: Juliano, B.O. (Ed.): Rice: chemistry and technology. St. Paul The American Association of Cereal Chemist, Inc. pp. 59-74.
- Kashtan, H., Stern, H.S., Jenkin, D.J., Jenkin, A.L., Thompson, L.U., Hay, K., Marcon, N., Minkin, S. and Bruce, W.R., 1992. Colonic fermentation and markers of cancer risk. *Am. J. Clin. Nutr.* 55: 723-8.
- Mallet, A.K., Bearne, C.A., Young, P.J. and Rowland, I.R., 1988. Influence of starches of low digestibility on the rat caecal microflora. *British J. Nutr.* 60: 597-604.
- Marshall, W.E., 1992. Effect of degree of milling of brown rice and particle size of milled rice on starch gelatinization. *Cereal Chem* 69: 632-636.
- Marsono, Y. & Topping, D.L., 1993. Complex carbohydrates in Australian rice products. *Food Sci. and Tech. (LWT)* 26: 364-70.
- Marsono, Y., 1993. Complex carbohydrates and lipids in rice products: effects on large bowel volatile fatty acids and plasma cholesterol in animals. Ph.D. Thesis, Flinders University of South Australia, Adelaide.
- Marsono, Y., Illman, R.J., Clarke, J.M., Trimble, R.P. and Topping, D.L., 1993. Plasma lipids and large bowel volatile fatty acids in pigs fed on white rice, brown rice and rice bran. *British. J. Nutr.* 70: 503-513.
- McBurney, M.I., Thomson, L.U., Cuff, D.J. and Jenkins, D.J.A., 1988. Comparison of ileal effluents, dietary fibers, and whole foods in predicting the physiologic importance of colonic fermentation. *Am. J. Gastroenterology*, 63, 536-540
- McNeil, N., 1984. The contribution of the large intestine to the energy supplies in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 39: 338-42.
- Miller, T.L. and Wolin, M.J., 1979. Fermentation by saccharolytic intestinal bacteria. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 164-72.
- Muir J.G. , Young, G.P., O'Dea, K., Cameron-Smith, D., Brown, I.L. and Collier, G.R., 1993. Resistant starch – the neglected 'dietary fiber' ? Implications for health. *International Newsletter on Carbohydrates, Fiber and Health* 1: 25-48.
- O'Dea, K., 1990. Factors influencing carbohydrate digestion: Acute and long-term consequences. *Diabetes, Nutr. & Metab.* 3: 251-8.
- Panlasigui, L.N., Thompson, L.U. and Juliano, B.O., 1991. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 871-877.
- Pomeranz, Y., 1992. Research and development regarding enzymes-resistant starch (RS) in the USA: a review. *Eur. J. Clin. Nutr.* 42: S63-8.
- Sambucetti, M.E. and Zuleta, A., 1996. Resistant starch in dietary fiber values measured by the AOAC method in different cereals. *Cereal chem.* 73(6): 759-761
- Scheppach, W., Fabian, C., Sachs, M. and Kasper, H., 1988. Effect of starch malabsorption on fecal SCFA excretion in man. *Scand. J. Gastroenterology* 23: 755-9.
- Segal, I., Naik, I., Daya, B. and Becker, P.J., 1993. Fermentation of the carbohydrate of banana (*Paradisica sapientum*) in the human large intestine. *Am. J. Gastroenterology* 88: 420-3.
- Snow, P. and O'Dea, K., 1981. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 2721-7.
- Unlu, E. and Faller, J.F., 1998. Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal chem.* 75 (3): 346-350.
- Weaver, G.A., Krause, J.A., Miller, T.L. and Wolin, M. J., 1992. Cornstarch fermentation by colonic microbial community yields more butyrate than does cabbage fiber fermentation; cornstarch fermentation rates correlate negatively with methanogenesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 55: 70-7.
- Wolever, T.M.S., Cohen, Z., Thompson, L.U. (1986). Ileal loss of available carbohydrates in man: comparison of breath method with direct measurement using a human ileostomy model. *Am. J. Gastroenterology* 81: 115-122.
- Wolever, T.M.S., Jenkins, D.J.A., Vuksan, V., Jenkins, A.L., Buckley, G.C., Wong, G.S. and Josse, R.G., 1992. Beneficial effect a low Glycaemic Index diet in type 2 diabetes. *Diabetic Medicine* 451-8.
- Wursch, P. (1989). Starch in human nutrition. In: Bourne, GH (ed): Nutritional value of cereal products, beans and starches. World Review of Nutrition and Dietetics. Basel, Karger, 60: 199-256.
- Wursch, P., Del Vedovo, S. and Koellreutter, B., 1986. Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legume. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 25-29.
- Zobel, H.F., 1984. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In : Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. : Starch: chemistry and technology, 2 nd edition, Academic Press, Orlando, 285-309.