



Mini review: Peran fisiologis pati resisten sebagai substrat bakteri kolon dalam produksi asam lemak rantai pendek

Zalniati Fonna Rozali^{1*}

¹ Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Hasan Krueng Kalee No.3 Darussalam, Banda Aceh 23111

INFO ARTIKEL

Diterima Juli 2024

Disetujui Juli 2024

* Penulis koresponden

email: zulniatifonnarozali@usk.ac.id

Kata kunci:

Pati

Prebiotik

Saluran cerna

Sakarolitik

SCFA

Keywords:

Starch

Prebiotic

Gut system

Sacarolitic

SCFA

ABSTRAK

Pati resisten merupakan salah satu jenis karbohidrat dan termasuk dalam bahan baku atau ingredien pangan fungsional yang berperan dalam meningkatkan kesehatan pencernaan. Berbeda dengan pati, pati resisten tidak dapat dihidrolisis menjadi glukosa oleh enzim amilase di usus kecil, namun dapat berperan sebagai serat pangan yaitu menjadi substrat dan difermentasi oleh beberapa bakteri sakarolitik di kolon. Hasil utama fermentasi berupa asam lemak rantai pendek (SCFA) seperti asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Fermentasi utama pati resisten dilakukan oleh mikroflora kolon golongan sakarolitik. Sifat fungsional pati resisten sering dikaitkan dengan beberapa efek metabolik SCFA pada rasio tertentu dalam saluran pencernaan yang manfaat bagi kesehatan, seperti meningkatkan kekebalan tubuh, mengurangi peradangan, dan meningkatkan penyerapan nutrisi. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk menyajikan penelitian yang relevan tentang peranan pati resisten sebagai substrat bagi bakteri sakarolitik dalam produksi SCFA di dalam kolon.

ABSTRACT

Resistant starch is a type of carbohydrate and is included in the raw materials or functional food ingredients that play a role in improving digestive health. Unlike starch, resistant starch cannot be hydrolyzed into glucose by the enzyme amylase in the small intestine, but it can act as dietary fiber, which is a substrate and fermented by saccharolytic bacteria in the colon. The main products of fermentation are short-chain fatty acids (SCFA) such as acetic acid, propionic acid, and butyric acid. The main fermentation of resistant starch is carried out by saccharolytic colonic microflora. The functional properties of resistant starch are often attributed to some metabolic effects of SCFAs at certain ratios in the gastrointestinal tract that benefit health, such as boosting immunity, reducing inflammation, and improving nutrient absorption. This literature review aims to present relevant research on the role of resistant starch as a substrate for saccharolytic bacteria in SCFA production in the colon.

1. PENDAHULUAN

Pati resisten adalah salah satu bahan baku pangan fungsional yang permintaannya secara global terus meningkat beberapa tahun ini. Tingginya permintaan tersebut berkaitan dengan fungsi pati resisten sebagai ingredien pangan fungsional dalam berbagai industri makanan dan minuman kesehatan atau yang dikenal dengan pangan fungsional (Raigond et al. 2015). Namun, kadar pati resisten dalam sumber pati alami sangat terbatas dan bervariasi jumlahnya. Ketersediaan pati alami sebagai bahan baku pati resisten cukup banyak dan beragam jenis memberikan peluang untuk dikembangkan sebagai pati resisten. Berbagai tanaman sumber pati seperti sagu, ubi jalar, singkong, garut, dan beras telah dimanfaatkan untuk produksi pati resisten.

Berbeda dengan pati, pati resisten merupakan bagian dari pati yang pemanfaatannya bukan sebagai sumber

energi. Pati resisten secara struktur sangat kompak dan rapat sehingga tidak mudah diakses oleh enzim amilase dalam saluran cerna (Rozali et al, 2018). Akibatnya pati resisten tidak dapat dihidrolisis menjadi glukosa, yang akan diubah menjadi energi di dalam sel tubuh.

Karakteristik pati resisten yang lambat atau tidak dapat dicerna menyebabkan pati resisten dikelompokkan sebagai serat tidak larut (Vernaza dan Chang 2017). Berbeda dengan serat, pati resisten dapat memperbaiki kualitas sensori produk pangan sekaligus dapat membantu meningkatkan kesehatan tubuh karena berfungsi seperti serat pangan. Seperti serat pangan, pati resisten yang tidak tercerna akan menjadi substrat bagi mikroba kolon.

Saluran cerna manusia mengandung berbagai spesies mikroba terutama bakteri. Konsentrasi mikroba terutama bakteri dan aktivitas metabolik tertinggi ditemukan dalam kolon. Bakteri fakultatif anaerob dan obligat anaerob

termasuk kelompok bakteri yang paling sering ditemukan dalam kolon manusia (Vanhoutte et al. 2006). Sebagian besar mikroba kolon bersifat sakarolitik, yaitu menggunakan pati sebagai substrat dengan menfermentasi pati menjadi glukosa dan selanjutnya menghasilkan metabolit berupa asam organik dan gas terutama CO₂ dan H₂.

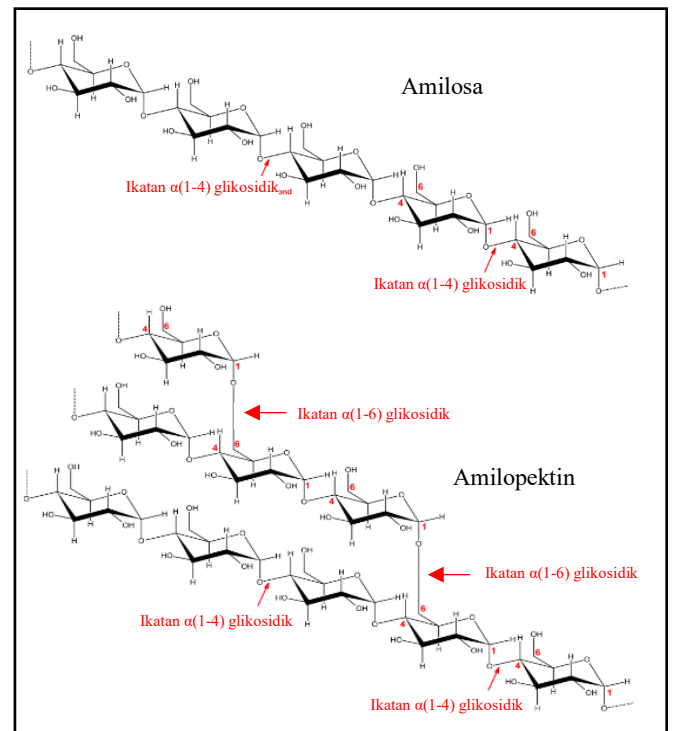
Hasil utama fermentasi pati resisten oleh mikroba kolon yaitu asam lemak organik dengan berat molekul rendah yang dikenal sebagai asam lemak rantai pendek (*Short Chain Fatty Acid*, SCFA). SCFA utama pada fermentasi pati resisten oleh mikroba kolon yaitu asam asetat, asam propionat dan asam butirat. Selain menjadi sumber energi yang berharga bagi mikroba kolon, SCFA juga mempunyai efek yang menguntungkan pada metabolisme manusia. Beberapa studi melaporkan manfaat pati resisten dalam makanan, dan efeknya dalam mencegah beberapa penyakit metabolik seperti diabetes, kolesterolemik dan kanker kolon. Hal ini menyebabkan pati resisten dijadikan sebagai salah satu bahan baku pangan fungsional (Ribeiro, et al, 2022). Tinjauan literatur ini bertujuan untuk menyajikan penelitian yang relevan tentang peranan pati resisten sebagai substrat bagi mikroba sakarolitik dalam produksi SCFA di dalam kolon.

2. PATI

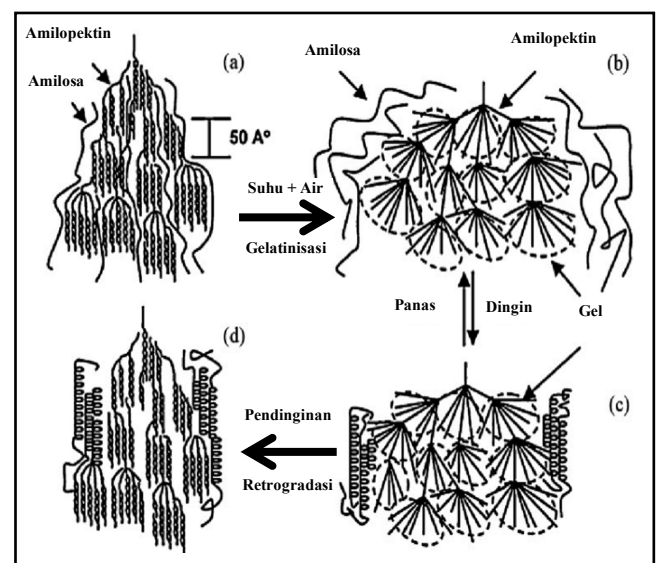
Pati adalah karbohidrat utama yang ditemukan di alam dan merupakan sumber utama karbohidrat dalam makanan manusia. Secara alami, sebagian pati terdapat dalam plastida biji, akar, umbi, buah, daun, umbi, inti batang, dan rimpang tanaman hijau dalam bentuk granula. Senyawa utama penyusun granula pati adalah α -D-glukosa yang saling terhubung membentuk dua polimer dengan struktur dan sifat yang berbeda, yaitu amilosa dan amilopektin. Dalam granula pati juga terdapat sejumlah kecil senyawa fosfor, lipid, dan protein. Granula pati berbeda dalam hal ukuran, bentuk, morfologi dan komposisi penyusunnya, tergantung pada asal tumbuhan, tingkat kematangan, cuaca dan tanah (Ma & Boye, 2018). Contohnya ukuran granula pati pisang sangat besar yaitu 20-50 μ m (Musita et al., 2012) dibandingkan ukuran granula pati umbi talas yaitu 8,7 μ m, pati beras 3-8 μ m dan pati jagung 11-12 μ m (Aryanti et al., 2017).

Amilosa merupakan polimer pati rantai lurus α -D-glukosa dengan ikatan glikosidik α -D (1-4) dan memiliki berat molekul sekitar 500 – 6.000 *anhydroglucose unit* (AGU). Amilopektin merupakan polimer pati dengan rantai bercabang yang tersusun atas untaian rantai lurus α -D-glukosa dengan ikatan glikosidik α -D (1-4) dan rantai-rantai cabang yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik α -D (1-6) dengan berat molekul sekitar 10⁵ – 10⁸ AGU (Belitz et al., 2009). Pati umumnya terdiri dari 20-25% amilosa dan 75-80% amilopektin, meskipun ada mutan alami jagung, beras, sorgum, dan jelai, yang dominan mengandung amilopektin atau amilosa yang tinggi (55-70%). Perbedaan struktur dan jumlah amilosa dan amilopektin dalam granula pati memiliki dampak yang signifikan terhadap daya cerna, sifat kimia dan fisik dari pati, yang pada gilirannya mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai aplikasi, seperti makanan, industri, dan farmasi. Secara umum, amilosa dan amilopektin memiliki fungsi yang berbeda dalam berbagai aplikasi produk pangan. Amilosa sering digunakan sebagai bahan pengental dalam makanan, sedangkan amilopektin digunakan sebagai pengisi dan agen pengikat dalam makanan (Ma & Boye, 2018).

Butiran pati alami tidak larut dalam air dingin, karena struktur semi-kristalnya. Pemanasan suspensi pati dalam air pada suhu 55 - 70 °C menyebabkan pembengkakan granula pati, gangguan pada bagian kristal dan hilangnya sifat *birefringence*. Saat suhu meningkat, susunan kristalin granula rusak dan viskositas meningkat dengan meningkatnya pembengkakan granula. Proses ini dikenal sebagai gelatinisasi dan merupakan sifat penting dari pati. Setelah gelatinisasi dan terjadi penurunan suhu, rantai polimer dalam pasta pati berasosiasi kembali dan menjadi lebih teratur, peristiwa ini disebut sebagai retrogradasi (Gambar 2). Retrogradasi menghasilkan gel atau endapan dan terkait dengan sifat stabilitas pasta selama penyimpanan (Ma & Boye, 2018).



Gambar 1. Struktur molekul amilosa dan amilopektin, dua polimer utama penyusun granula pati.



Gambar 2. Perubahan granula pati akibat pemanasan dan pendinginan. (a) Pati alami, (b) selama proses pemanasan mengalami gelatinisasi yaitu pengembangan membentuk

gel, (c) gel mengalami pendinginan dan (d) teretrogradasi. Sumber: Yu dan Christie (2005).

3. DEFENISI PATI RESISTEN DAN KARAKTERISTIKNYA

Bagi manusia, pati merupakan bahan pangan utama yang akan dikonversi menjadi energi dalam tubuh manusia (Bojarczuk, et al, 2022). Konversi pati menjadi energi melalui proses yang panjang, yang dimulai dari proses hidrolisis pati menjadi glukosa. Hidrolisis atau pencernaan pati dilakukan oleh beberapa enzim terutama di dalam usus halus oleh enzim α -amilase, glukamilase dan sukraseisomaltase. Hasil hidrolisis pati berupa glukosa akan diserap ke dalam darah untuk dibawa ke sel-sel tubuh dan selanjutnya diubah menjadi energi (Fuentes-Zaragoza, dkk., 2010).

Pati resisten (*resistant starch*, RS) adalah jenis karbohidrat yang tidak dicerna oleh enzim pencernaan bagian atas saluran cerna manusia (usus halus), sehingga mencapai usus besar dalam bentuk utuh. Pati resisten memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari jenis pati lain. Pertama, pati resisten tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia seperti amilase, yang bertanggung jawab untuk memecah pati menjadi glukosa. Kedua, pati resisten tidak larut dalam air dan tidak mudah diurai oleh enzim pencernaan. Ketiga, pati resisten memiliki struktur molekul yang berbeda dari pati biasa, yang membuatnya sulit dicerna. Pati resisten yang sampai di usus besar (kolon) selanjutnya akan menjadi substrat dan difermentasi oleh berbagai mikroflora kolon terutama golongan bakteri probiotik, menghasilkan metabolit berupa SCFA, yang sering dikaitkan dengan beberapa efek metabolik yang mendukung kesehatan pencernaan (DeMartino & Cockburn, 2020).

Jumlah pati resisten secara alami berbanding lurus dengan jumlah amilosa dalam granula pati yaitu semakin tinggi jumlah amilosa maka jumlah pati resisten juga semakin tinggi (Zhu, et al., 2011). Hingga saat ini terdapat 5 jenis pati resisten yang dapat dijumpai dalam bahan pangan, yaitu pati resisten tipe 1, tipe 2, tipe 3, tipe 4 dan tipe 5. Pati resisten tipe 1 dan tipe 2 terdapat secara alami dalam bahan pangan, sedangkan tipe 3, tipe 4 dan tipe 5 terbentuk setelah pati mengalami proses pengolahan (Ashwar, dkk., 2016).

Pati resisten tipe 1 yaitu bagian granula pati yang secara fisik tidak dapat diakses oleh enzim pencernaan karena granula pati terperangkap dalam dinding sel tanaman. Pati resisten tipe 2 yaitu bagian granula pati yang secara alami memiliki struktur sangat rapat, memiliki kepadatan tinggi dan sebagian berbentuk kristal sehingga menghambat akses enzim pencernaan. Pati resisten tipe 2 dapat ditemui pada bahan pangan sumber pati seperti kentang, pisang, biji-bijian dan kacang-kacangan (Jenie et al., 2012).

Pati resisten tipe 3 yaitu pati yang telah mengalami perubahan secara fisik melalui proses pemanasan dan pendinginan. Prinsip pembentukan pati resisten tipe 3 yaitu dengan meningkatkan fraksi amilosa rantai pendek dan membuatnya mengalami retrogradasi melalui pendinginan. Semakin banyak fraksi amilosa rantai pendek, maka akan semakin banyak fraksi amilosa yang teretrogradasi sehingga kadar pati resisten yang terbentuk akan semakin tinggi (Srichuwong, 2006). Menurut Schmiedl et al. (2000), peningkatan fraksi amilosa rantai pendek dengan derajat polimerisasi (DP) antara 10 - 35 cukup optimal untuk meningkatkan kadar pati resisten. Nilai DP tersebut dapat

diperoleh dengan cara menghidrolisis amilosa secara parsial maupun memotong titik percabangan rantai amilopektin (Lehmann et al. 2003). Tujuan proses tersebut yaitu merusak struktur kristalin granula pati dengan proses hidrotermal, proses pemanasan bertekanan-pendinginan (*autoclaving-cooling*), hidrolisis asam atau pemutusan ikatan percabangan α (1-6) rantai amilopektin menggunakan enzim pullulanase atau isoamilase (Dupuis et al. 2014).

Produk makanan seperti roti, cornflakes, kentang yang dimasak dan didinginkan, dan produk makanan dengan perlakuan panas yang berkepanjangan dan/atau berulang merupakan contoh makanan yang mengandung pati resisten tipe 3. Pati resisten tipe 3 dikenal juga sebagai pati teretrogradasi. Proses modifikasi untuk menghasilkan pati retrogradasi menghasilkan perubahan tekstur, rasa dan aroma. Selain itu juga menyebabkan terjadi perubahan lain seperti peningkatan suhu gelatinisasi dan penurunan daya gelatinisasi, penurunan viskositas, peningkatan kekerasan, penurunan kepulenan, serta menyebabkan *staling* (terbentuk lapisan luar yang kaku) pada produk bakery (Wang et al. 2015).

Pati resisten tipe 4 yaitu pati yang dimodifikasi fisiknya dengan perlakuan secara kimia yaitu melalui reaksi oksidasi, hidrolisis asam, fosforilasi, asetilasi, atau kombinasinya dengan reaksi atau metode lain. Reaksi asetilasi dilakukan untuk membentuk jembatan antar fraksi amilosa pada amilopektin. Reaksi fosforilasi dilakukan untuk mensubstitusi sebagian gugus hidroksil pati dengan gugus fosfat. Reaksi kimia hidrolisis asam dengan asam sitrat, asam laktat, dan asam asetat dilakukan untuk memutus rantai cabang amilopektin sehingga dihasilkan fraksi amilosa rantai pendek. Semua reaksi tersebut dilakukan untuk mengubah sifat fisik pati dan secara biologi dapat menghambat akses enzim α -amilase untuk mencerna pati resisten tipe 4 (Rozali et al., 2018).

Pati resisten tipe 5 merupakan kompleks amilo-lipid, dinyatakan sebagai sumber baru pati resisten. Kompleks amilosa-lipid terdapat secara alami di dalam granula pati, akibat reaksi interaksi antara bagian hidrofobik rantai amilosa dengan rantai hidrokarbon lipid sehingga memenuhi rongga sentral dari heliks tunggal amilosa (Hasjim et al., 2017). Keberadaan kompleks amilosa-lipid menyebabkan pati menjadi resisten terhadap hidrolisis enzim amilolitik (Pangastuti & Permana, 2021). Namun, penelitian terbaru menemukan bahwa beberapa interaksi molekul pati dengan senyawa lain seperti pati-gliserol, pati-asam amino, pati-peptida, pati-protein, pati-lipid-protein, pati-polifenol, pati-polisakarida lain, pati-komponen bioaktif tanaman dan lain-lain, juga terukur sebagai pati resisten karena tidak dapat dicerna oleh enzim amilase, sehingga menurut Gutiérrez & Tovar (2021), definisi pati resisten tipe 5 tidak hanya terbatas pada kompleks amilosa-lipid.

Kecepatan rata-rata pencernaan pati dipengaruhi oleh banyak faktor yang saling berhubungan, termasuk pati resisten tipe 1 dan 2 yang terdapat secara alami dalam pangan sumber karbohidrat. Secara fisiologis, peran pati resisten yang mirip seperti serat menyebabkan pati resisten bermanfaat bagi kesehatan. Hasil penelitian Fuentes-Zaragoza et al. (2010) pada tikus menunjukkan bahwa konsumsi ransum yang mengandung 25% pati resisten dapat mempengaruhi metabolisme dan mengubah konsentrasi lipid dalam darah menjadi lebih baik, yaitu menormalkan kadar total lipid, kolesterol total, *low density lipoprotein* (LDL), *high density lipoprotein* (HDL), *very low density*

lipoprotein (VLDL), *intermediate density lipoprotein* (IDL), trigliserida dan trigliserida kaya lipoprotein menjadi lebih baik. Substitusi 5.4% pati dengan pati resisten dalam ransum secara signifikan juga dilaporkan meningkatkan oksidasi lipid postprandial sehingga konsumsi dalam jangka panjang diduga dapat menurunkan akumulasi lemak (Fuentes-Zaragoza *et al.* 2010). Selain itu, konsumsi pati resisten membantu meningkatkan kesehatan kolon, yaitu menjadi sumber energi bagi sel-sel kolon dan mikroba baik, menurunkan pH kolon sehingga membantu menurunkan jumlah mikroba patogen dan sel-sel abnormal seperti kanker kolon. Menurut Zhang *et al.* (2010), pati resisten sering disubstitusikan sekitar 30% dari total serat dalam pangan.

4. Komposisi Mikroflora Kolon dan Metabolisme Pati Resistensi

Mikroflora kolon, juga dikenal sebagai mikroba usus, merupakan komunitas mikroorganisme yang kompleks yang menghuni usus besar. Mikroflora kolon terdiri dari bakteri, archaea, fungi, virus, dan protozoa, dengan bakteri yang mendominasi. Komposisi mikroflora kolon sangat kompleks dan bervariasi antar individu, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti genetika, usia, gaya hidup, diet, dan lingkungan (Altveş, *et al.*, 2020).

Mikroflora usus memiliki peran penting dalam kesehatan, membantu dalam pencernaan, produksi vitamin, dan penguatan sistem kekebalan tubuh. Mikroflora kolon dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama: mikroba komensal dan mikroba patogen. Mikroba komensal adalah mikroba yang bermanfaat bagi tubuh, sementara mikroba patogen dapat menyebabkan penyakit. Keseimbangan antara mikroba komensal dan patogen, yang dikenal sebagai eubiosis, sangat penting untuk menjaga kesehatan kolon (Al-Rashidi, 2022).

Komunitas mikroflora utama kolon yaitu bakteri dengan konsentrasi dan aktivitas metabolik tertinggi yaitu mencapai 400–500 spesies bakteri dengan jumlah yang beragam. Isi kolon dapat mengandung hingga 10^{11} bakteri per gram nya. Bakteri fakultatif anaerob (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Enterococci*, *Klebsiella*, *Lactobacilli*, dan *Proteus*) dan obligat anaerob (*Bifidobacteria*, *Peptococci*, *Peptostreptococci* dan *Ruminococci*) termasuk dominan ditemukan dalam kolon manusia (Vanhoutte *et al.* 2006).

Umumnya bakteri kolon tergolong bakteri sakarolitik, yaitu memecah pati menjadi glukosa dan selanjutnya dihidrolisa menjadi SCFA (asam asetat, propionat, dan butirat), asam laktat, dan gas CO₂ dan H₂. Bakteri kolon memiliki peran penting dalam metabolisme pati resisten. Ketika pati resisten mencapai usus besar, bakteri kolon menfermentasi pati resisten dan mengubahnya menjadi produk-produk metabolisme, termasuk SCFA.

Fermentasi pati resisten di dalam kolon umumnya dilakukan oleh bakteri golongan sakarolitik. Struktur pati resisten yang kompleks memerlukan bakteri tertentu untuk memulai degradasi pati resisten dengan struktur semikristalin. Menurut Ze *et al.*, (2012), bakteri spesies, *Ruminococcus bromii* dan *Bifidobacterium adolescentis* (dan beberapa spesies *Bifidobacterium*), diketahui yang menunjukkan kemampuan utama dalam mendegradasi pati resisten. *R. bromii* menjadi spesies kunci dalam metabolisme pati resisten dan memungkinkan mikroflora usus lainnya untuk menfermentasi pati resisten lebih lanjut. *R. bromii* memiliki enzim amilolitik dengan organisasi yang

unik, yaitu dengan membentuk kompleks multi-enzim yang melekat pada permukaan sel melalui modul *cohesin* dan *dockerin* (Ze *et al.*, 2015). Terlepas dari kemampuan degradasi pati resisten, *R. bromii* sendiri tampaknya tidak bersaing atau mendominasi spesies lain, melainkan memainkan peran yang menguntungkan melalui pelepasan fraksi amilosa dengan berbagai panjang dan asetat yang menjadi substrat silang bagi spesies lain (Ze *et al.* 2012), (Crost *et al.*, 2018). *B. adolescentis* memainkan peran yang mirip dengan *R. bromii* sebagai pengurai utama pati resisten, tetapi melepaskan laktat dan gula (Belenguer *et al.* 2006). Meskipun ini adalah dua spesies pengurai primer yang diterima secara luas, diduga ada spesies lain yang mungkin ada.

Klostermann *et al.*, (2024) telah mempelajari fermentabilitas *in vitro* dari delapan sampel yang mengandung sejumlah pati resisten tipe 3 (25 – 75%) yang juga mengandung sejumlah fraksi pati mudah cerna oleh inokulum feses orang dewasa. Hasil penelitian tersebut menemukan bahwa fermentabilitas bergantung pada ketersediaan fraksi pati mudah cerna. Bakteri *Bifidobacterium* tumbuh lebih dominan pada substrat yang banyak mengandung fraksi pati mudah cerna menghasilkan asam asetat dan asam laktat. Bakteri *Ruminococcus* dan *Lachnospiraceae* tumbuh lebih dominan pada substrat yang banyak mengandung fraksi pati resisten walaupun memerlukan waktu fermentasi lebih lama menghasilkan asetat dan butirat. Kehadiran fraksi pati dapat dicerna ($\pm$ 25%) dalam substrat yang mengandung pati resisten tipe 3 mempengaruhi laju fermentasi dan komposisi mikroflora, setelah itu fraksi pati resisten hampir tidak difermentasi. Hasil kuantifikasi SCFA diketahui bahwa pati resisten tipe 3 hanya dapat difermentasi jika terdapat mikroba tertentu.

5. Produksi SCFA sebagai Hasil Metabolisme Pati Resistensi

SCFA adalah asam lemak rantai pendek yang dihasilkan oleh fermentasi karbohidrat yang tidak dicerna oleh bakteri di usus besar. SCFA utama yang dihasilkan dari metabolisme pati resisten adalah asam asetat, asam propionat, dan asam butirat. Asam asetat adalah SCFA yang paling banyak dihasilkan, diikuti oleh asam propionat dan asam butirat. Proses produksi SCFA dapat dijelaskan sebagai berikut: bakteri kolon memecah pati resisten menjadi glukosa. Glukosa kemudian difermentasi oleh bakteri untuk menghasilkan SCFA. Proses fermentasi ini juga menghasilkan gas seperti hidrogen, karbon dioksida, dan metana.

Beberapa bakteri dalam kolon seperti *Roseburia intestinalis*, *Eubacterium rectale*, dan *Faecalibacterium prausnitzii* memproduksi butirat dalam konsentrasi lebih tinggi dibandingkan SCFA lainnya (Pryde *et al.* 2002). Produksi SCFA per hari dalam kolon manusia sekitar 100–200 mM. Perbandingan konsentrasi asetat : propionat : butirat bervariasi antara 48 : 29 : 23 dan 70 : 15 : 15, dengan nilai rata-rata sekitar 60 : 20 : 20 (Lin *et al.* 2012) atau 60 : 22 : 18 (Zeng *et al.* 2014). Produksi SCFA oleh bakteri kolon yang memfermentasi pati resisten tipe 3 secara *in vitro* menunjukkan ratio SCFA yang berbeda pula (Tabel 1). Faktor seperti jenis dan jumlah substrat, komposisi dan jumlah mikroflora kolon, dan waktu transit substrat tersebut dalam kolon mempengaruhi kecepatan, rasio, dan jenis SCFA yang dihasilkan (Henningsson *et al.* 2001).

Tabel 1. Ratio asam asetat, asam propionat dan asam butirat hasil fermentasi pati resisten

Asal Pati Resisten	Bakteri kolon	Waktu (jam)	Ratio (mmol)	Pustaka
Nutriose FB 06; 1%	Ekstrak feses	24	8,5 : 7,7 : 5,7	Beards <i>et al.</i> 2010
Ubi Jalar 2%	<i>Clostridium butyricum</i>	18	16,1 : 4,7 : 198,4	Adiputra 2012
		24	13,5 : 16,7 : 120,3	
Ubi Jalar 3%		18	20,7 : 19,0 : 19,1	
		24	24,3 : 22,4 : 42,9	
Sagu 1%	<i>Clostridium butyricum</i>	48	83,7 : 47,6 : 46,7	Purwani <i>et al.</i> , 2012
Beras 1%			48,9 : 8,0 : 27,1	
Sagu 1%	<i>E.rectale</i>	48	93,8 : 52,3 : 59,4	
Beras 1%			108,1 : 27,6 : 34,0	
Beras 2%	<i>Konsorsium Mikroba kolon</i>	12	0,99 : 0,97 : 0,97	Hutabarat <i>et al.</i> , 2018
	<i>Clostridium butyricum</i> BCC-B2571	12	0,98 : 0,99 : 0,99	

6. Sifat Fisiologis Pati Resistensi bagi Kesehatan

6.1 Efek pada kesehatan usus dan kolon

Beberapa penelitian melaporkan bahwa fermentasi pati resisten oleh mikroflora kolon menghasilkan SCFA, seperti asam laktat, asetat, propionat, dan butirat, yang merupakan produk akhir utama dari jalur fermentasi mikroba (Sobh *et al.*, 2022). Asam propionat dan asam asetat berperan untuk menurunkan pH kolon, sehingga membantu melindungi kolon dari pertumbuhan mikroba patogen dan mendukung perkembangan bakteri menguntungkan (Shen *et al.*, 2017). Fermentasi pati resisten tipe 3 dari beras oleh konsorsium mikroba kolon, *C. butyricum* BCC-B2571 or *E. rectale* DSM 17629 secara in vitro menurunkan pH medium menjadi sekitar 4 – 4,5 (Hutabarat *et al.*, 2018), pH ini lebih rendah dibandingkan medium yang mengandung bakteri patogen dengan pH 4 – 9 (Guli, 2016).

Secara spesifik, pati resisten menunjukkan peran dalam merangsang bakteri untuk memproduksi asam butirat (Zhou *et al.*, 2021). Asam butirat berperan penting dalam menjaga keadaan normal sel epitel kolon, antara lain berperan sebagai nutrisi pada kolonisasi. Beberapa penelitian lain menunjukkan asam butirat hasil fermentasi pati resisten berperan dalam mengurangi risiko perubahan DNA sel kolon menjadi sel kanker (Wang *et al.*, 2018). Studi lain juga melaporkan bahwa kehadiran pati resisten dalam makanan memberikan efek menguntungkan dalam meningkatkan frekuensi buang air besar dan memperpendek waktu transit usus, yang mungkin juga merupakan elemen penting dalam pencegahan kanker kolon (Muir *et al.*, 2004).

Jenis pati resisten mempengaruhi komposisi mikroflora kolon. Misalnya, pati resisten tipe 2 meningkatkan jumlah *Ruminococcus bromii* dan *Eubacterium rectale*, sehingga meningkatkan butirat dalam tinja. Sedangkan pati resisten tipe 4 dapat meningkatkan *Parabacteroides distasonis* dan *Bifidobacterium youthis* sehingga berpengaruh positif terhadap proses metabolisme

lipid (Metzler-Zebeli *et al.*, 2015). Demikian pula *Roseburia* spp. dan *R. bromii* adalah produsen butirat penting di kolon dan merupakan hasil fermentasi pati teretrogradasi (pati resisten tipe 3) (Y. Zhang *et al.*, 2013). bakteri *R. bromii* adalah spesies penting di dalam kolon manusia dalam mendegradasi pati resisten, terutama pati resisten tipe 3 (Ze *et al.*, 2012). Contoh-contoh ini menunjukkan bahwa jenis pati resisten berpotensi mempengaruhi jumlah relatif dan jenis spesies yang menghuni kolon. Penting juga untuk dicatat bahwa selain SCFA, gas seperti hidrogen, metana, dan karbon dioksida juga dihasilkan selama proses fermentasi pati resisten. Pelepasan gas-gas tersebut ke dalam lumen usus dapat menyebabkan perut kembung dan rasa tidak nyaman (Piecyk, 2019).

6.2 Efek konsumsi pati resisten pada kadar glukosa darah

Makanan yang mengandung pati resisten proses pencernaannya lebih lambat dibandingkan makanan yang hanya mengandung pati cepat dicerna. Akibatnya, konsumsi makanan tersebut menyebabkan lambatnya pelepasan glukosa ke dalam aliran darah, dan efek ini digambarkan sebagai indeks glikemik (GI), suatu sistem klasifikasi yang memberi peringkat pada makanan yang berbeda berdasarkan perubahan respons glikemik setelah konsumsi makanan (Barclay *dkk.*, 2021).

Wahjuningsih *et al.* (2016) melaporkan bahwa konsumsi beras analog yang terbuat dari campuran sagu dan kacang merah yang mengandung pati resisten sebesar 11,6% signifikan menurunkan kadar glukosa darah puasa tikus uji sebesar 46% setelah 30 hari percobaan. Penelitian lain melaporkan bahwa konsumsi sereal bubuk yang terbuat dari campuran pati sagu dan daun kelor yang mengandung pati resisten sebanyak 9,65% secara signifikan menurunkan kadar glukosa darah puasa pada tikus wistar diabetes sebesar 65,32%. Hasil penelitian tersebut juga melaporkan bahwa penurunan kadar glukosa darah puasa tikus yang diberi pakan sereal yang mengandung pati resisten tersebut setara dengan penelitian yang sama pada tikus yang diberikan glibenklamid (obat yang diberikan untuk mengontrol kadar glukosa darah pada pasien diabetes tipe 2) yaitu sebesar 70,98% (Putri *et al.*, 2019).

6.3 Efek pati resisten dalam pengelolaan lipid tubuh

Banyak peneliti telah mencatat efek pati resisten pada metabolisme lipid baik pada penelitian pada hewan maupun pada sejumlah kecil percobaan pada manusia. Mekanisme dampak pati resisten terhadap metabolisme lipid dalam tubuh mungkin terkait dengan fermentasi RS di usus besar, perubahan mikroflora terkait, dan pembentukan SCFA (Slavin, 2013). SCFA, terutama butirat digunakan oleh sel epitel kolon sebagai substrat untuk menghasilkan energi utama. Dalam sel hati sebagian besar (50–70%) asam asetat dan sisa butirat dan propionat juga digunakan sebagai substrat untuk menghasilkan energi (Roberfroid, 2004).

Menurut Haghikia *et al.*, (2022), asam asetat dan asam propionat mengatur metabolisme lipid dan kolesterol. Dalam penelitian lain, tikus yang diberikan pakan yang mengandung pati resisten (25%), jumlah dan tingkat penyerapan SCFA meningkat secara signifikan, dan kadar kolesterol plasma, serum dan trigliserida berkurang (Sajilata *et al.*, 2006, Han *et al.*, 2003). Diduga karena strukturnya pati resisten tipe 3 dapat mengikat garam empedu dan dengan demikian membatasi reabsorpsi asam empedu di ileum, merangsang produksi asam empedu di hati, yang efeknya

adalah peningkatan pemanfaatan kolesterol (Dongowski dkk., 2005). Namun, tidak ada efek pengikatan yang ditunjukkan pada jenis pati resisten lainnya (Park et al., 2004). Sebuah penelitian yang melibatkan individu yang kelebihan berat badan dan obesitas melaporkan efek signifikan dari pola makan kaya pati resisten terhadap penurunan kolesterol total dan kolesterol non-HDL dibandingkan dengan pola makan kaya serat yang digunakan selama 12 bulan (Dodevska et al., 2016). Namun, sebagian besar penelitian yang melibatkan sukarelawan sehat belum menemukan hubungan yang signifikan antara asupan pati resisten dan kadar trigliserida (Edwards et al., 2015).

6.4. Efek pada berat badan

Pati resisten juga memiliki manfaat mengendalikan berat badan yaitu mencegah kelebihan berat badan dan obesitas karena mempunyai efek fisiologis yang mirip serat pangan (Higgins, 2014). Hasil penelitian Battung et al (2019) melaporkan bahwa tikus uji yang diberikan pakan berupa tepung jagung yang mengandung pati resisten (sekitar 4,85%) selama 28 hari secara signifikan menurunkan berat badan tikus sebesar 17,62%.

6.5 Efek lainnya

Hasil fermentasi pati resisten yaitu SCFA memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan saluran pencernaan, termasuk:

- Meningkatkan kesehatan usus
- Mengurangi peradangan usus
- Meningkatkan penyerapan nutrisi
- Meningkatkan kekebalan usus
- Mencegah kanker usus besar
- Memberikan efek positif pada organ tubuh lain, seperti hati, pankreas, dan otak.

7. Kesimpulan

Pati resisten merupakan substrat penting bagi mikroflora kolon dalam produksi SCFA. SCFA memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan saluran pencernaan, seperti meningkatkan kesehatan usus, mengurangi peradangan usus, dan meningkatkan penyerapan nutrisi. Konsumsi makanan yang kaya pati resisten dapat meningkatkan produksi SCFA dan meningkatkan kesehatan saluran pencernaan.

Produksi SCFA dari hasil fermentasi pati resisten oleh mikroflora kolon dipengaruhi oleh berbagai faktor, yaitu: jenis pati resisten, komposisi mikroflora kolon, diet, usia dan kondisi Kesehatan.

8. DAFTAR PUSTAKA

Al-Rashidi, H. E. 2022. Gut microbiota and immunity relevance in eubiosis and dysbiosis. *Saudi journal of biological sciences*, 29(3), 1628-1643.

Altveş, S., Yildiz, H. K., Vural, H. C. 2020. Interaction of the microbiota with the human body in health and diseases. *Bioscience of microbiota, food and health*, 39(2), 23-32.

Aryanti, N. Y. A. 2017. Pati Talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) Sebagai Alternatif Sumber Pati Industri. *Momentum*, 13(1), 46–52.

Ashwar BA, Gani A, Shah A, Wani IA, Masoodi FA. 2016. Preparation, health benefits and applications of

resistant starch—A review. *Starch-Stärke*, 68(3-4), 287-301. doi: [10.1002/star.201500064](https://doi.org/10.1002/star.201500064)

Battung, S. M., Salam, A., Novrianti, D., Ajie, R. A. K. 2019. Efek diet tinggi karbohidrat terhadap glukosa darah dan berat badan tikus wistar. *Jurnal Gizi Masyarakat Indonesia (The Journal of Indonesian Community Nutrition)*, 8(2).

Beards, E., Tuohy, K., Gibson, G. 2010. Bacterial, SCFA and gas profiles of a range of food ingredients following in vitro fermentation by human colonic microbiota. *Anaerobe*, 16(4), 420-425.

Belenguer, A., Duncan, S. H., Calder, A. G., Holtrop, G., Louis, P., Lobley, G. E., Flint, H. J. 2006. Two routes of metabolic cross-feeding between *Bifidobacterium adolescentis* and butyrate-producing anaerobes from the human gut. *Applied and environmental microbiology*, 72(5), 3593-3599.

Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P. 2009. 4.2 Monosaccharides. *Food Chemistry. Springer Berlin Heidelberg, Berlin*, 248-292.

Bojarczuk, A., Skapska, S., Khaneghah, A. M., Marszałek, K. 2022. Health benefits of resistant starch: A review of the literature. *Journal of functional foods*, 93, 105094.

Cockburn, D. W. 2022. Resistant Starch: The Dietary Fiber of the Starch World. In *Starch and Starchy Food Products* (pp. 197-218). CRC Press.

DeMartino, P., Cockburn, D. W. 2020. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current opinion in biotechnology*, 61, 66-71.

Dobranowski, P. A., Stintzi, A. 2021. Resistant starch, microbiome, and precision modulation. *Gut Microbes*, 13(1), 1926842.

Dodevska, M. S., Sobajic, S. S., Djordjevic, P. B., Dimitrijevic-Sreckovic, V. S., Spasojevic-Kalimanovska, V. V., Djordjevic, B. I. 2016. Effects of total fibre or resistant starch-rich diets within lifestyle intervention in obese prediabetic adults. *European journal of nutrition*, 55, 127-137.

Dupuis JH, Liu Q, Yada RY. 2014. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: a review. *Compr Rev Food Sci F*, 13: 1219–1234. doi: [10.1111/1541-4337.12104](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12104)

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., Pérez-Álvarez, J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942.

Guli, M. M. 2016. Patogenesis penyakit kolera pada manusia. *Biocelbes*, 10(2).

Gutiérrez, T. J., Tovar, J. 2021. Update of the concept of type 5 resistant starch (RS5): Self-assembled starch V-type complexes. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 711-724.

Haghikia, A., Zimmermann, F., Schumann, P., Jasina, A., Roessler, J., Schmidt, D., ... Landmesser, U. 2022. Propionate attenuates atherosclerosis by immune-dependent regulation of intestinal cholesterol metabolism. *European heart journal*, 43(6), 518-533.

Hasjim J, Lee SO, Hendrich S, Setiawan S, Ai YF, Jane JL. 2010. Characterization of a Novel Resistant-Starch and Its Effects on Postprandial Plasma-Glucose and Insulin Responses. *Cereal Chem*. 87:257-262 doi: [10.1002/9781118528723.ch4](https://doi.org/10.1002/9781118528723.ch4)

- Henningssson, Å., Björck, I., Nyman, M. 2001. Short-chain fatty acid formation at fermentation of indigestible carbohydrates. *Näringsforskning*, 45(1), 165-168.
- Higgins, G. A., Hong, S., Wiley, J. W. 2022. The role of epigenomic regulatory pathways in the gut-brain axis and visceral hyperalgesia. *Cellular and molecular neurobiology*, 42(2), 361-376.
- Hutabarat, D. J. C., Zakaria, F. R., Purwani, E. Y., Suhartono, M. T. 2018. SCFA Profile of Rice RS Fermentation by Colonic Microbiota, *Clostridium butyricum* BCC B2571, and *Eubacterium rectale* DSM 17629. *Adv Biosci Biotechnol.* 9 (02): 90-106. doi: [10.4236/abb.2018.92008](https://doi.org/10.4236/abb.2018.92008)
- Jenie, B. S. L., Putra, R. P., Kusnandar, F. 2012. Fermentasi kultur campuran bakteri asam laktat dan pemanasan otoklaf dalam meningkatkan kadar pati resisten dan sifat fungsional tepung pisang tanduk (*Musa paradisiaca* formatypica). *Indonesian Journal of Agricultural Postharvest Research*, 9(1), 18-26.
- Klostermann, C. E., Endika, M. F., Kouzounis, D., Buwalda, P. L., de Vos, P., Zoetendal, E. G., ... Schols, H. A. 2024. Presence of digestible starch impacts in vitro fermentation of resistant starch. *Food & Function*, 15(1), 223-235.
- Lehmann U, Rossler C, Schmiedl D, Jacobash G. 2003. Production and physicochemical characterization of resistant starch type 3 derived from pea. *Starch/Nahrung/Food*. 43: 60-63.
- Ma, Z., Boye, J. I. 2018. Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(7), 1059-1083.
- Musita, N. 2012. Kajian Kandungan dan Karakteristik Pati Resistan dari Berbagai Varietas Pisang. *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 14(1), 68-79.
- Pangastuti, H. A., Permana, L. 2021. Pengukuran pati resisten tipe 5 secara in vitro pada nasi udak. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2), 42-48.
- Purwani EY, Purwadaria T, Suhartono MT. 2012. Fermentation RS3 derived from sago and rice starch with *Clostridium butyricum* BCC B2571 or *Eubacterium rectale* DSM 17629. *Anaerobe*. 18, 55-61. doi:10.1016/j.anaerobe.2011.09.007
- Putri, M. N. H., Fauziah A., Maryusman T. 2019. Pengaruh sereal berbahan sagu dan Moringa oleifera terhadap kadar glukosa darah tikus yang diinduksi aloksan. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 6(2), 219-228.
- Raigond, P., Ezekiel, R., Singh, B., Dutt, S., Joshi, A., Rinki, R. 2015. Resistant starch production technologies: A review. *Potato Journal*, 42(2).
- Ribeiro, N. C. B. V., Ramer-Tait, A. E., Cazarin, C. B. B. 2022. Resistant starch: A promising ingredient and health promoter. *Pharma Nutrition*, 21, 100304.
- Rozali, Z. F., Purwani, E. Y., Iskandriati, D., Palupi, S. N., Suhartono, M. T. 2018. Potensi Pati Resistan Beras sebagai Bahan Pangan Fungsional. *Jurnal Pangan*, 27(3), 215-224.
- Schmiedl D, Bauerlein M, Bengs H, Jacobasch G. 2000. Production of heatstable, butyrogenic resistant starch. *Carbohydr Polym*. 43: 183-193
- Slavin, J. 2013. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435.
- Sobh, M., Montroy, J., Daham, Z., Sibbald, S., Lalu, M., Stintzi, A., Fergusson, D. A. 2022. Tolerability and SCFA production after resistant starch supplementation in humans: a systematic review of randomized controlled studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 115(3), 608-618.
- Srichuwong S, Sunarti TC, Mishima T, Isono N, Hisamatsu M. 2005. Starches from different botanical sources I: contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydr Polym*. 60(4): 529-538.
- Vanhoutte, T., De Preter, V., De Brandt, E., Verbeke, K., Swings, J., Huys, G. 2006. Molecular monitoring of the fecal microbiota of healthy human subjects during administration of lactulose and *Saccharomyces boulardii*. *Applied and environmental microbiology*, 72(9), 5990-5997.
- Vernaza, M. G., Chang, Y. K. 2017. Survival of resistant starch during the processing of atmospheric and vacuum fried instant noodles. *Food Science and Technology*, 37(3), 425-431.
- Wahjuningsih, S. B., Haslina, H., Marsono, M. 2018. Hypolipidaemic effects of high resistant starch sago and red bean flour-based analog rice on diabetic rats. *Materia socio-medica*, 30(4), 232.
- Wang S, Li C, Copeland L, Niu Q, Wang S. 2015. Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comp Rev Food Sci F*. 14(5), 568-585. doi: [10.1111/1541-4337.12143](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143)
- Wen, J. J., Li, M. Z., Hu, J. L., Tan, H. Z., Nie, S. P. 2022. Resistant starches and gut microbiota. *Food Chemistry*, 387, 132895.
- Ze, X., Duncan, S. H., Louis, P., Flint, H. J. 2012. *Ruminococcus bromii* is a keystone species for the degradation of resistant starch in the human colon. *The ISME journal*, 6(8), 1535-1543.
- Ze, X., Ben David, Y., Laverde-Gomez, J. A., Dassa, B., Sheridan, P. O., Duncan, S. H., ..., Flint, H. J. 2015. Unique organization of extracellular amylases into amyloosomes in the resistant starch-utilizing human colonic Firmicutes bacterium *Ruminococcus bromii*. *MBio*, 6(5), 10-1128.
- Zhang Y, Zhou L, Bao YL, Wu Y, Yu CL, et al. 2010. Butyrate induces cell apoptosis through activation of JNK MAP kinase pathway in human colon cancer RKO cells. *Chem-Biol Interac*. 185. 174-181.
- Zhu LJ, Qiao-Quan L, Wilson JD, Ming-Hong G, Yong-Cheng S. 2011. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydr Polym*. 86. 1751- 1759. Doi: [10.1016/j.carbpol.2011.07.017](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.017)