

A Review: Potensi Pengembangan Pati Resisten Dengan Modifikasi Autoclaving-cooling Sebagai Pangan Fungsional

A Review: Potential Development of Resistant Starch with Autoclaving-cooling Modification as Functional Food

Ni Nyoman Puspawati^{1*}, Wayan Dewi Adyeni¹⁾, R. Haryo Bimo Setiarto²⁾

1) Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

2) Badan Riset dan Inovasi Nasional, KST. Soekarno, Cibinong-Bogor

*Penulis korepondensi: Ni Nyoman Puspawati: puspawati@unud.ac.id

Diterima: 30 Oktober 2024 / Disetujui: 19 Desember 2024

Abstract

Starch modification is an activity that aims to change the physical or chemical properties of starch as needed, especially to increase the level of resistant starch (RS). One modification technique that has been widely practiced is autoclaving-cooling. The purpose of this review is to evaluate the potential of developing resistant starch with autoclaving-cooling modification in root crops and its functional effects. Autoclaving-cooling is a physical modification technique that can produce retrogradable starch, which can reduce starch digestibility and increase resistant starch content. The main functional effect of foods containing resistant starch is that they can be fermented by the microbiota in the colon, which is known as the prebiotic effect. Prebiotics are utilized by probiotic bacteria as selective substrates in metabolism that produce short-chain fatty acids (SCFA). Short-chain fatty acids, especially acetate, propionate, and butyrate, have various effects, including a role in obesity management, diabetes, and liver disease.

Keywords: Modification starch, resistant starch, autoclaving-cooling, functional effect.

PENDAHULUAN

Pati merupakan karbohidrat yang terdiri dari polimer glukosa yaitu amilosa dan amilopektin dan merupakan komponen terbesar pada tanaman pangan seperti umbi-umbian. Komponen penyusun pati alami adalah amilosa dan amilopektin dengan komposisi bervariasi tergantung jenis bahan pangan dengan kisaran kadar amilosa 15-20% dan amilopektin 80-85% (Rosida 2021). Umbi-umbian menjadi salah satu komoditas pangan dengan kandungan pati relatif tinggi yang berpotensi menggantikan atau menjadi substitusi beras dan terigu (Rosida 2021).

Sajilata *et al.*, (2006) melaporkan berdasarkan sifat pencernaan pati digolongkan menjadi pati yang dapat dicerna cepat (*rapidly digestible starch*), pati yang dicerna lambat (*slowly digestible starch*) dan pati yang tahan terhadap sistem pencernaan atau pati resisten (RS).

Pati resisten (RS) adalah fraksi pati yang memiliki ketahanan terhadap hidrolisis enzim pencernaan sehingga dapat mencapai usus besar yang selanjutnya dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroflora alami usus (Englyst *et al.* 1982 dan Englyst *et al.* 1986). Berdasarkan asal dan proses pembuatan RS

dibagi menjadi lima kelompok, yaitu pati resisten tipe 1 sampai pati resisten tipe 5 (Zaragoza *et al.*, 2010; Birt *et al.*, 2013). Pati resisten tipe 1 dan tipe 2 merupakan tipe RS yang secara alami terdapat pada bahan pangan, sedangkan RS tipe 3, tipe 4, dan tipe 5 merupakan RS yang diperoleh dari proses modifikasi RS alami.

Secara alami umbi-umbian memiliki kandungan RS tipe 1 atau tipe 2. Pati resisten yang terdapat dalam matriks dan sel tanaman bahan pangan kaya pati adalah RS tipe 1, sedangkan RS tipe 2 adalah pati alami yang memiliki ketahanan terhadap hidrolisis enzim pencernaan α -amilase dan memiliki granula pati berbentuk kristalin. Beberapa jenis pati alami umumnya tidak dapat langsung digunakan dalam proses produksi pangan. Hal tersebut disebabkan karena pati resisten alami akan kehilangan sifatnya sebagai pati tahan cerna setelah melalui proses pemasakan yang menggunakan suhu tinggi (Dundar *et al.*, 2013).

Pati resisten tipe 3 adalah pati resisten yang diperoleh dari proses pemanasan suhu tinggi dan pendinginan kembali sehingga menghasilkan pati retrogradasi atau amilosa yang mengalami rekristalisasi (Garcia *et al.*, 1999). Pati resisten tipe 4 merupakan pati termodifikasi kimia melalui ikatan silang maupun pati ester, RS 4 penggunaannya pada produk makanan terbatas pada fungsionalnya dan tidak dapat diaplikasikan pada produk yang diolah menggunakan suhu tinggi (Abbas *et al.* 2010; Haynes *et al.*, 2013).

Sedangkan RS tipe 5 terbentuk ketika berinteraksi dengan lipid dengan klaim memiliki sifat stabil terhadap panas, namun diperkirakan stabilitasnya lebih rendah bila dibandingkan dengan RS 3 (Hasjim *et al.* 2013). Diantara pati resisten tipe 1 sampai tipe 5, RS tipe 3 menjadi yang paling menarik karena stabil terhadap panas sehingga dapat mempertahankan sifatnya sebagai pati tahan cerna dan karakteristik organoleptiknya. Haynes *et al.* (2013) melaporkan bahwa RS 3 selain memiliki stabilitas panas yang tinggi juga mengandung serat (60%), kadar kalori rendah, serta sifat fungsional yang tinggi sebagai tepung.

Sifat fisik dan kimia umbi-umbian yang belum optimal pada RS alami menyebabkan pemanfaatannya masih terbatas sehingga perlu dilakukan pengembangan baik dari bahan bakunya ataupun melalui proses modifikasi (Herawati 2010). Perbaikan sifat pati alami dapat dilakukan dengan memodifikasi pati seperti memotong ikatan-ikatan molekul penyusun pati dan membentuk atau menyelaraskan kembali struktur molekul pati, mensubstitusi gugus kimia penyusun pati maupun proses oksidasi pati (Meutia, 2010)

METODE

Referensi dalam *review* adalah artikel jurnal nasional bereputasi yang terakreditasi dari Sinta, jurnal internasional bereputasi yang terakreditasi oleh Scopus dari penerbit web server online seperti Springer Link,

Google Scholars, dan Science Direct. Alat bantu yang digunakan adalah perangkat lunak Mendeley [versi 1.19.8 (2020)]. Literatur penelitian dipilih berdasarkan penyaringan judul dan abstrak yang dianalisis untuk menentukan kesesuaian dengan kriteria inklusi dan eksklusi.

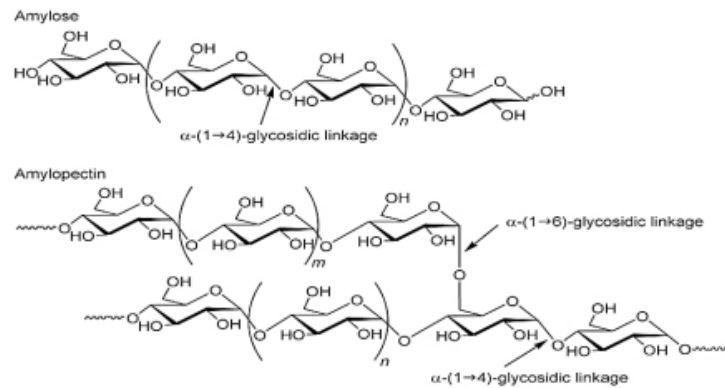
PEMBAHASAN

Pati modifikasi

Pati modifikasi adalah pati yang diperbaiki sifat fisik kimianya dengan mengubah gugus hidroksinya, mengganggu susunan struktur molekul aslinya melalui reaksi kimia sehingga menghasilkan pati dengan sifat-sifat yang diinginkan untuk proses pengolahan (Rosida, 2021). Pati alami merupakan polisakarida yang tersusun dari molekul-molekul amilosa amilopektin, Dimana molekul amilosa merupakan molekul berbentuk linear primer dengan ikatan α -1,4-D-glukosa dan berat molekul berkisar $8,1 \times 10^4$ - $9,7 \times 10^5$ g/mol (Takeda *et al.* 1990; Jane 2004). Amilopektin merupakan komponen penyusun pati yang memiliki berat molekul sekitar $7,0 \times 10^7 - 5,7 \times 10^9$ dan bentuk rantai bercabang pada ikatan molekul α -1,6-D-glukosa (Hizukuri 1986; Yoo dan Jane 2002). Karakteristik amilosa mudah menyerap dan melepaskan air sehingga memiliki sifat keras (pera), sedangkan amilopektin sulit untuk mengikat air namun bila air sudah terikat maka akan dipertahankan sehingga karakteristiknya cenderung lengket. Rahayu (2023) melaporkan bahwa kandungan amilosa

berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat fisik seperti sifat termal, pembentukan dan sifat gel yang dihasilkan, sifat pasta dan sifat-sifat pencernaan pati. Pembentukan RS 3 dari RS alami dilakukan melalui proses gelatinisasi dan retrogradasi. Gelatinisasi merupakan proses perubahan bentuk granula pati yang membesar dan pecah karena adanya air dan panas yang cukup tinggi. Peristiwa ini ditandai dengan penyerapan air oleh granula pati sehingga terjadi pengembangan (*swelling*), peluruhan (*melting*) pada bagian kristalin, perubahan kekentalan suspensi dan peningkatan kelarutan pati (Marie *et al.*, 2014). Proses pemanasan menyebabkan granula pati menyerap molekul-molekul air dan memerangkap didalamnya, hal tersebut mengakibatkan granula mengalami pembengkakan dan pecah. Suhu pemanasan yang semakin tinggi akan menyebabkan semakin banyak air yang masuk dan terperangkap dalam granula dimana pada akhirnya granula pati akan pecah karena putusannya ikatan hidrogen pada amilosa dan amilopektin (Liu *et al.*, 2005). Hal tersebut dapat mengganggu kekompakan dari granula pati.

Peningkatan suhu pada proses pemanasan mengakibatkan peningkatan energi kinetik molekul air sehingga air semakin mudah terpenetrasi dalam granula pati. Air yang terperangkap secara terus menerus dalam molekul amilosa dan amilopektin menyebabkan pembengkakan granula pati hingga mencapai batas



**Gambar. 1 Struktur molekul amilosa dan amilopektin
(Sumber: Swinkels 1985 dalam Rosida 2021)**

maksimum dan pecah. Tahap ini menyebabkan terjadinya penurunan kekentalan suspensi pasta (Millan *et al.*, 2014). Maria (2013) melaporkan jika gelatinisasi terlebih dahulu akan terjadi pada granula yang memiliki ukuran lebih besar. Suspensi pati yang dipanaskan pada suhu diatas suhu gelatinisasi menyebabkan terjadinya disosiasi ikatan heliks ganda pada amilopektin sehingga terjadi pelepasan amilosa/*amylose leaching*. Mudahnya amilosa lepas/ *amylose leaching* dibandingkan amilopektin disebabkan karena posisi amilosa pada granula pati berada pada daerah amorf sehingga lebih mudah dan cepat berdifusi dari granula pati.

Retrogradasi didefinisikan sebagai proses kristalisasi kembali atau rekristalisasi pati yang telah mengalami gelatinisasi setelah pati melalui proses pendinginan (Winarno 2004). Peristiwa retrogradasi terjadi setelah pati didinginkan dimana pati yang semula

terdisosiasi bergabung kembali menyelaraskan diri membentuk struktur heliks yang menyebabkan kelarutan molekul pati semakin menurun. Selama retrogradasi terjadi proses kekakuan (*rigidity*) dan pembentukan struktur kristal (*crystallinity*). Retrogradasi terjadi akibat molekul amilosa maupun amilopektin menyelaraskan diri membentuk ikatan hidrogen kembali, terutama pada molekul amilosa (Srichuwong, 2006). Pembentukan ikatan hidrogen diantara molekul amilosa lebih mudah dibandingkan dengan molekul amilopektin. Hal tersebut terjadi karena pada proses gelatinisasi molekul amilosa lebih banyak yang terlepas (*amylose leaching*) yang menyebabkan semakin banyak pati retrogradasi yang terbentuk. Pati akan mengalami beberapa perubahan sifat karena retrogradasi antara lain: peningkatan ketahanan molekul amilosa dan amilopektin terhadap enzim amilolitik, penurunan kemampuan transmisi/ditembus

cahaya, peningkatan kelarutan gel sehingga kemampuan gel pati mengikat air dan pembentukan kristal yang besar akan menghilang, selain itu juga menyebabkan kehilangan kemampuan pembentukan kompleks warna biru saat ditambah iodin (Fulton *et al.*, 2002).

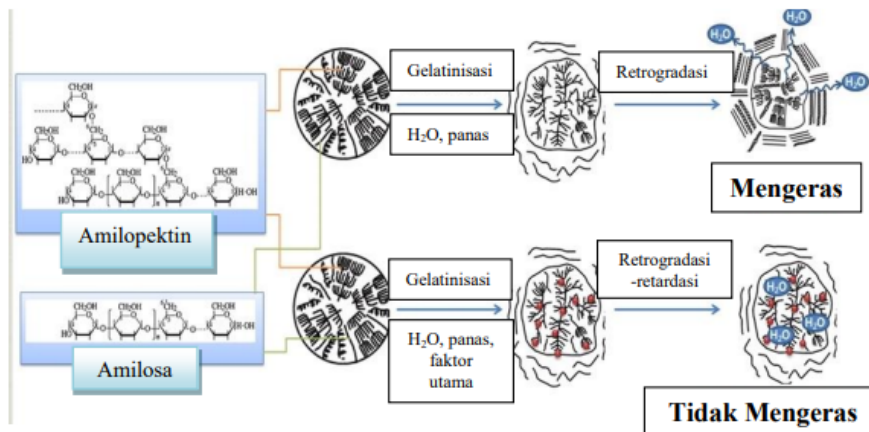
Rocchetti *et al.* (2018) melaporkan bahwa modifikasi pati alami menjadi RS 3 menyebabkan ikatan hidrogen antar intramolekul dan rantai pati menjadi lebih solid yang mengarah pada transformasi struktur amorf berkelanjutan sehingga memungkinkan aksesibilitas fisik dengan enzim pencernaan menjadi berkurang. Gelatinisasi dan retrogradasi secara substansial dapat mengubah struktur fisik granula dengan mempengaruhi kemampuan integritas fisik granula dibuktikan dengan pembengkakan, pemecahan dan/atau peleburan granula yang membatasi ekspansi dan kontak dengan enzim pencernaan (Sudheesh *et al.* 2020). Amilopektin memiliki sifat yang mudah untuk dipengaruhi secara struktur baik dengan perlakuan fisik, kimia, dan enzimatik (Winarti *et al.* 2019; Wu *et al.* 2020). Hidrolisis pati selama pemanasan secara sempurna akan mengakibatkan tegangan pada ikatan bergeser serta memutuskan ikatan antar molekul dan struktur granula amilopetin (Chung 2009).

Modifikasi *autoclaving-cooling*

Jenis pati resisten yang paling umum dan banyak diaplikasikan pada pengolahan pangan sebagai bahan baku fungsional

berbasis RS adalah pati resisten tipe 3 (Setiarto, 2015). Namun kandungan pati resisten tipe 3 pada pati alami cenderung rendah, hal tersebut menyebabkan perlu upaya peningkatan melalui teknik modifikasi. Modifikasi pati banyak jenisnya, salah satunya dengan modifikasi fisik. Salah satu modifikasi fisik yang banyak dilakukan adalah teknik *autoclaving cooling*. Prinsip *autoclaving cooling* adalah melarutkan pati dalam air yang kemudian dipanaskan menggunakan suhu tinggi kemudian didinginkan sehingga memperoleh pati teretrogradasi dengan rantai yang pendek (Setiarto, 2015).

Tahapan produksi RS 3 pada umumnya ada 3 yaitu pemotongan/pemutusan rantai cabang amilopektin, gelatinisasi pati, dan tahap retrogradasi dimana kondisi proses dioptimalisasi baik suhu penyimpanan maupun konsentrasi pati yang digunakan (Zaragoza *et al.*, 2010; Setiarto 2015). Ikatan hidrogen merupakan jenis ikatan yang terjadi pada penyusunan struktur *double heliks* antara fraksi-fraksi amilosa. Selanjutnya antara struktur *double heliks* akan saling berikatan yang nantinya akan membentuk struktur kristalit. Proses rekristalisasi fraksi amilosa ini yang selanjutnya dikenal sebagai pati resisten tipe 3 (Setiarto, 2015). Metode *autoclaving-cooling* dapat dilakukan dengan teknik berulang atau beberapa siklus. Depolimerisasi amilosa dan amilopektin pada rantai terluar dari bagian kristalin akan terjadi dengan semakin banyak siklus *autoclaving-*



Gambar 2. Mekanisme proses pembentukan RS menggunakan metode *autoclaving-cooling* (Zaragoza *et al.*, 2010).

cooling yang dilakukan (Pratiwi *et al.*, 2008).

Proses *autoclaving-cooling* dengan beberapa siklus menyebabkan pembentukan pati yang terretrogradasi semakin banyak sehingga kadar pati resisten semakin meningkat dan kemampuan daya cerna pati menjadi menurun. Pada peristiwa retrogradasi akan terjadi penyusunan ulang dan penyelarasan molekul pati antara ikatan amilosa dengan amilosa, amilosa dengan amilopektin dan amilopektin dengan amilopektin sehingga ikatan pada pati akan semakin kompak dan kuat yang menyebabkan pati semakin sulit dicerna (Zaragoza *et al.*, 2010). Namun demikian jenis tanaman akan berpengaruh terhadap perubahan struktur dan sifat pati yang dimodifikasi dengan teknik *autoclaving cooling*. Jenis umbi-umbian lebih rentan dibandingkan biji-bijian maupun kacang-kacangan pada pemberian perlakuan siklus *autoclaving-cooling* (Shin 2004).

Sampai dengan saat ini *autoclaving-cooling* berulang dari 1 siklus hingga 5 siklus telah dilakukan. Setiarto *et al.*, (2018) melaporkan pada hasil penelitian modifikasi tepung talas dengan *autoclaving-cooling* 2 siklus menghasilkan RS lebih tinggi dibandingkan perlakuan *autoclaving-cooling* 1 siklus (Tabel 1.) Modifikasi pati garut menggunakan teknik *autoclaving-cooling* dengan 5 siklus dimana waktu gelatinisasi 15 menit menunjukkan peningkatan kadar pati resisten dua kali lipat dibandingkan kadar RS dari kentang dan ubi jalar berturut-turut sebesar 5,6% dan 5,4% (Shin *et al.* 2004). Rosida *et al.*, (2015) melaporkan hasil penelitian ubi kelapa ungu, ubi kelapa kuning, dan ubi kelapa putih kadar RS tertinggi diperoleh pada perlakuan 3 siklus *autoclaving-cooling* dibandingkan perlakuan 2 siklus ataupun 1 siklus *autoclaving-cooling*, yaitu berturut-turut 7,55%, 7,14%, dan 9,04% (Tabel 1).

Tabel 1. Beberapa penelitian terkait peningkatan RS dengan *autoclaving-cooling* berulang pada umbi-umbian

Jenis Umbi	Teknik Modifikasi	Kadar RS (%)	Referensi
Pati Garut	<i>autoclaving-cooling</i> 3 siklus	10,91	(Sugiyono <i>et al.</i> , 2009)
	<i>autoclaving-cooling</i> 5 siklus	12,15	
Tepung Mocaf	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	4,20	Asbar 2014
	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	6,30	
	<i>autoclaving-cooling</i> 3 siklus	8,70	
Ubi Kelapa	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	5,16	
Ungu	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	6,99	
	<i>autoclaving-cooling</i> 3 siklus	7,55	
Ubi Kelapa	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	5,16	Rosida 2015
Kuning	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	6,27	
	<i>autoclaving-cooling</i> 3 siklus	7,14	
Ubi Kelapa	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	5,42	
Putih	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	8,25	
	<i>autoclaving-cooling</i> 3 siklus	9,04	
Pati Keladi	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	3,63	(Wiadnyani <i>et al.</i> , 2017)
	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	4,38	
Tepung Talas	<i>autoclaving-cooling</i> 1 siklus	10,11	Setiarto 2018
	<i>autoclaving-cooling</i> 2 siklus	14,49	

Perbedaan *autoclaving-cooling* berulang terletak pada proses pemanasan dan pendinginan yang diberikan. Yusrina (2019) melaporkan bahwa *autoclaving-cooling* dengan 1 siklus terdiri dari tahap pemanasan dan pendinginan. Dua (2) siklus terdiri dari pemanasan – pendinginan – pemanasan – pendinginan. Proses *autoclaving-cooling* dengan beberapa kali siklus dapat meningkatkan kadar pati resisten karena terjadi peningkatan bentuk kristalin, peningkatan penyusunan ikatan amilosa-

amilosa dan amilosa-amilopektin (Yusrina 2019). Pembentukan RS 3 paling optimum jika menggunakan suspensi pati dengan konsentrasi sebesar 20% (b/b) dan suhu *autoclave* 121° C (Leeman *et al.*, 2006 dan Zaragoza *et al.*, 2010). Suspensi pati dengan konsentrasi dibawah ataupun diatas 20% justru dapat menyebabkan penurunan kadar pati resisten tipe 3.

Peningkatan kadar RS pada *autoclaving-cooling* berulang dapat terjadi dikarenakan pada proses modifikasi

memerlukan air yang lebih banyak. Hal tersebut menyebabkan fraksi amilosa melalui ikatan hidrogen dapat membentuk struktur dengan bentuk *double helix* secara maksimal. Kadar air yang lebih sedikit kemungkinan menyebabkan pembentukan struktur *double helix* amilosa tidak maksimal pada proses gelatinisasi siklus berikutnya, yang menyebabkan keluarnya amilosa (*amylose leaching*) dari granula pati juga tidak optimum (Sajilata *et al.*, 2006). *Amylose leaching* yang tidak optimal menyebabkan proses reasosiasi antara amilosa dengan amilosa dan amilosa dengan amilopektin lebih sedikit yang berdampak pada pembentukan RS yang cenderung rendah. Pembentukan pati resisten juga dipengaruhi beberapa faktor seperti: (1) perbandingan kadar amilosa: amilopektin bahan, semakin tinggi amilosa maka peluang terbentuknya RS akan semakin besar; (2) perbandingan pati: air dalam pembuatan suspensi; (3) suhu *autoclaving* yang digunakan, (4) jumlah siklus *autoclaving-cooling* yang digunakan (Sajilata *et al.*, 2006).

Sifat Fungsional Pati Resisten

Pati resisten (*Resistance Starch*) adalah pati yang memiliki ketahanan terhadap enzim-enzim pada saluran pencernaan sehingga pati tidak dapat dipecah dan dapat mencapai usus besar yang selanjutnya akan dimanfaatkan oleh mikroflora usus (Englyst *et al.* 1983; Englyst dan Macfarlane 1986). Efek fisiologis utama dari makanan yang mengandung RS adalah

karena dapat dimanfaatkan oleh mikrobiota dalam usus besar melalui proses fermentasi yang dikenal sebagai efek prebiotik. Bahan pangan dapat dikatakan sebagai prebiotik apabila memiliki ketahanan terhadap asam lambung dan enzim pencernaan, tidak dapat diabsorpsi saluran pencernaan/gastrointestinal bagian atas, dapat dijadikan sebagai substrat selektif bakteri probiotik dalam usus besar, tidak dapat dimanfaatkan bakteri enteropatogenik untuk tumbuh. Bakteri probiotik memanfaatkan prebiotik sebagai substrat selektif dalam metabolismenya yang menghasilkan metabolit, salah satunya asam lemak rantai pendek (*short chain fatty acid/SCFA*). Tiga jenis SCFA yang paling banyak dihasilkan adalah asetat, propionat dan butirat yang diproduksi oleh mikrobiota usus melalui jalur berbeda (Chen *et al.* 2020).

Asetat diproduksi dari piruvat melalui asetil-KoA dan melalui jalur Wood-Ljungdahl, butirat terbentuk dari asetoasetil-KoA setelah kondensasi 2 molekul asetil-KoA dan dapat disintesis dari laktat dan asetat, propionat terbentuk melalui jalur akrilat dan suksinat dari fofenolpiruvat dan juga melalui jalur propanediol dari gula deoksiheksosa (Sanna *et al.* 2019; Frampton *et al.* 2020). SCFA yang dihasilkan dari mikrobiota usus memiliki berbagai efek fungsional pada inangnya, seperti efek anti-diabetes, anti obesitas, anti-inflamasi, imunoregulasi, anti kanker, pelindung kardiovaskular, hepatoprotektif, neuroprotektif (Fernandez *et*

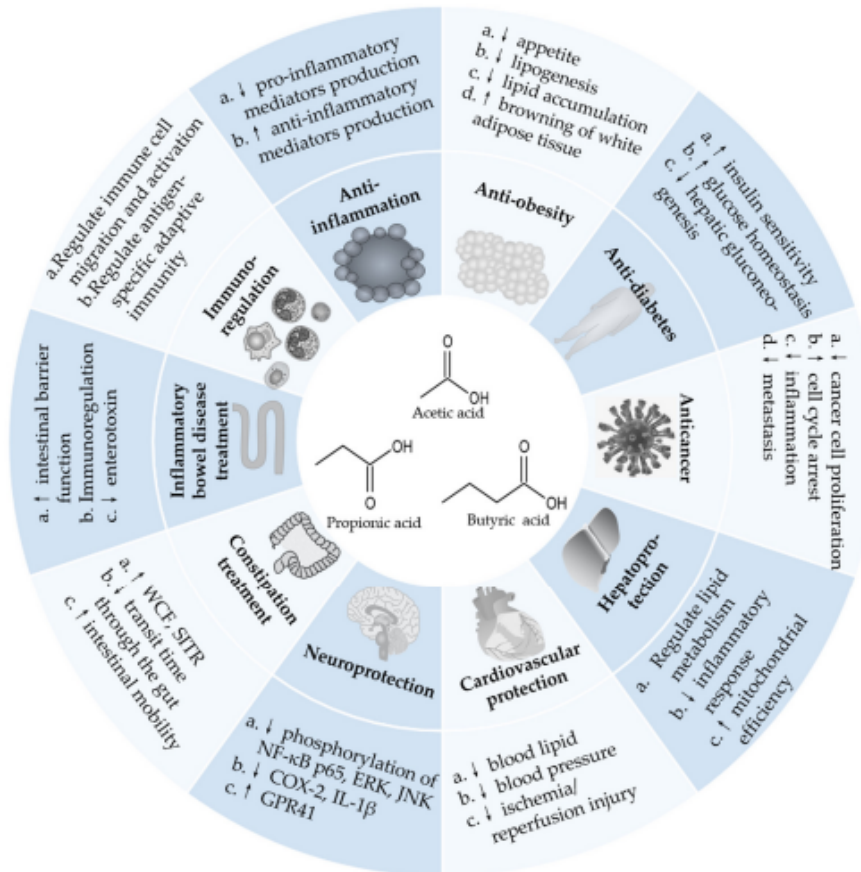
al. 2016; Li *et al.* 2017; Chen *et al.* 2020). Manfaat kesehatan dan mekanisme SCFA dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.

a. Mekanisme SCFA Pada Obesitas

Obesitas merupakan kelainan metabolisme yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara asupan dan pengeluaran energi (Li *et al.* 2017; Cao *et al.* 2019). Asam lemak rantai pendek (SCFA) terutama butirir selanjutnya propionat dan asetat berperan penting pada penanganan obesitas dan metabolisme energi dengan mengatur nafsu makan. Butirir dapat memberikan efek anoreksigenik (menekan rasa lapar) melalui pengaktifan neuron nukleus traktus solitarii (NTS) dan secara langsung meningkatkan konsentrasi Ca^{2+} di neuron ganglion nodose (NGNs) (Goswami *et al.* 2015). Selain itu, serum glukagon-like peptide 1 (GLP-1), peptida YY (PYY), dan leptin berpartisipasi dalam transfer sinyal rasa kenyang jangka pendek ke pusat nafsu makan di otak (Xiong *et al.* 2022). Propionat juga dilaporkan mampu mengurangi gangguan metabolisme terkait obesitas melalui penurunan trigliserida (TG) hati dan meningkatkan pembentukan asam lemak rantai ganjil (OCFA) (Weitkunt *et al.* 2016). Selain itu, asetat dapat menurunkan akumulasi lipid, menghambat liposis jaringan adiposa putih dan menginduksi pencoklatan jaringan adiposa putih yang dapat mengurangi adipositas tubuh dengan meningkatkan termogenesis (Sahuri-Arisoylu *et al.* 2016).

b. Mekanisme SCFA Pada Diabetes

Kelainan metabolisme selain menyebabkan obesitas juga menyebabkan penyakit diabetes. Penyakit diabetes mellitus terjadi ditandai dengan penurunan kemampuan sekresi insulin, terjadinya resistensi insulin dimana hal tersebut akan berdampak pada peningkatan kadar gula darah atau hiperglikemia (Li *et al.* 2019; Meng *et al.* 2019). International Diabetes Mellitus Federation memprediksikan bahwa 592 juta orang akan menderita diabetes mellitus pada tahun 2035 diseluruh dunia. Propionat mampu melemahkan resistensi insulin karena pola makan tinggi lemak dan meningkatkan sensitivitas insulin dengan mekanisme kerja yang berhubungan dengan merangsang produksi asam lemak rantai ganjil (OCFA) (Weitkunt *et al.* 2016). Butirir dapat meningkatkan pertumbuhan sel epitel usus, memperkuat hubungan erat usus, dan mengatur aktivitas mikrobiota usus dan sel kekebalan sehingga dapat memberi perlindungan terhadap usus yang pada akhirnya mampu mencegah dan mengobati diabetes mellitus tipe 1 (Liu *et al.* 2021). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa suplementasi butirir secara oral dan infus dapat mencegah resistensi insulin karena diet tinggi lemak dan meningkatkan homeostasis glukosa (Hernandez *et al.* 2019; Cryan *et al.* 2019). *Short chain fatty acid* (SCFA) juga memiliki efek fungsional yang berhubungan dengan aktivitas hepatoprotektif (pelindung hati).



Gambar 3. Manfaat kesehatan dan mekanisme SCFA. Keterangan: ↓ melambangkan penurunan, dan ↑ melambangkan kenaikan. Singkatan: COX-2, siklooksigenase-2; GPR41, reseptor berpasangan G-protein 41; IL, interleukin; NF-κB, faktor nuklir-kappa B; SIFR, tingkat transit usus kecil; WCF, kadar air feses. (Sumber: Xiong *et al.*, 2022)

c. Mekanisme SCFA Pada Penyakit Hati

Penyakit hati secara umum dibagi menjadi penyakit hati non-virus dan penyakit hati akibat virus (Huang *et al.* 2021). Mikrobiota usus dan metabolitnya seperti SCFA dapat mencegah dan menangani beberapa penyakit hati, khususnya penyakit hati non-virus (Meng *et al.* 2018; Li *et al.* 2021). Penyakit hati non-virus diantaranya penyakit hati alkoholik (ALD), penyakit hati berlemak non-alkohol (NAFLD), dan kerusakan hati akibat obat atau polutan (Xiong *et al.* 2022). Penyakit ALD dapat

disebabkan oleh asupan alkohol dalam jumlah besar dan jangka panjang yang menyebabkan hepatitis alkoholik, fibrosis, dan sirosis (Seitz *et al.* 2021). Xu *et al.* (2022) melaporkan bahwa propionat mampu meringankan steatosis hati yang diinduksi etanol dan meningkatkan fungsi hati dengan mekanisme pertahanan fungsi penghalang epitel usus serta menghambat jalur reseptor 4 (TLR4)-NF-κB seperti tol hati. Terjadinya NAFLD berkaitan dengan gangguan mikrobiota usus sehingga SCFA yang diproduksi oleh mikrobiota usus dapat

bermanfaat dalam mencegah dan mengobati NAFLD (Zhang *et al.* 2021). *Short chain fatty acid* (SCFA) dapat mengatur sekresi lendir, homeostasis mikroba dan sambungan ketat epitel usus untuk mengurangi penyebaran endotoksin usus ke hati sehingga mampu mengurangi tekanan oksidatif, tingkat peradangan di hati dan menunda perkembangan NAFLD (Liu *et al.* 2021). Selain itu, SCFA juga dapat memberi efek hepatoprotektif untuk melindungi hati dari kerusakan karena pengaruh konsumsi obat atau polutan. Pematangan sitokrom p450 (CYP) dihati penting untuk aktivitas metabolisme dan detoksifikasi xenobiotik.

Sebuah penelitian *in-vitro* melaporkan bahwa campuran asetat, propionat, dan butirat meningkatkan ekspresi CYP3A4 dan ALB dalam organoid hati yang diturunkan sel induk berpotensi majemuk diinduksi dari manusia mampu meningkatkan pematangan hati, aktivitas metabolisme dan detoksifikasi xenobiotic (Mun *et al.* 2021). Asetat juga dilaporkan dapat mengurangi kadar aspartat aminotransferase dan alkali fosfatase serum yang mengindikasikan asetat dapat meningkatkan fungsi hati (Sahuri *et al.* 2016).

Usus besar manusia adalah rumah bagi triliunan mikroba yang membentuk komunitas kompleks (mikrobiota usus). Aktivitas metabolisme mikrobiota usus berperan penting dalam menjaga homeostasis dan kesehatan. Meskipun keberadaan mikrobiota sangat penting, variasi

komposisinya dapat menyebabkan perubahan metabolisme yang mengakibatkan perubahan fenotipe inang (Turbaugh *et al.* 2006). Usus manusia menampung berbagai mikroba kompleks yang tidak hanya berkaitan dengan kesehatan melainkan juga penyakit. Selain faktor lingkungan, pola makan menjadi faktor utama dalam pembentukan mikrobiota usus secara terus-menerus. Prebiotik sebagian besar adalah serat yang merupakan komponen pangan yang tahan terhadap enzim pencernaan serta secara selektif dapat merangsang pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme menguntungkan di usus besar (De-Vrese dan Schrezenmeir 2008). Pemanfaatan serat sebagai substrat bakteri probiotik telah banyak dilaporkan dapat memberi manfaat besar bagi kesehatan. Namun, serat juga memungkinkan untuk dimanfaatkan oleh mikroba patogen usus seperti *Enterophogenic Esheriacia coli* dalam pertumbuhannya yang menghasilkan senyawa-senyawa karsinogenik sehingga dapat menyebabkan disbiosis mikrobiota usus. Disbiosis usus dapat memicu berbagai penyakit metabolik, neurologis, usus, kardiovaskular bahkan perkembangan tumor (Teng *et al.* 2023).

KESIMPULAN

Teknik modifikasi *autoclaving-cooling* telah banyak dilakukan dan berpotensi dalam meningkatkan kadar pati resisten terutama pada umbi-umbian yang dapat memberikan efek fungsional bagi

kesehatan diantaranya dalam pencegahan obesitas, diabetes dan penyakit hati. *Autoclaving-cooling* dapat menghasilkan pati teretrogradasi sehingga mampu meningkatkan kadar pati resiten pada bahan pangan. Reasosiasi antara molekul amilosa dengan amilosa, amilosa-amilopektin pada proses retrogradasi dapat membentuk struktur pati yang memiliki ikatan lebih kuat sehingga pati menjadi lebih resisten. Siklus *autoclaving-cooling* dapat meningkatkan lebih banyak pati teretrogradasi dan sampai saat ini sudah ada hingga 5 siklus *autoclaving-cooling* yang dilaporkan dapat meningkatkan kadar RS pada bahan pangan. Efek fungsional utama pangan yang mengandung RS adalah karena tahan terhadap enzim pencernaan namun dapat dimanfaatkan oleh mikroba alami dalam usus besar dan menghasilkan metabolit yang menguntungkan bagi kesehatan inangnya yang dikenal dengan efek prebiotik. Prebiotik dimanfaatkan oleh bakteri probiotik sebagai substrat selektif dalam metabolisme yang menghasilkan metabolit salah satunya asam lemak rantai pendek atau *short chain fatty acid*. Asetat, propionat, dan butirir merupakan jenis asam lemak rantai pendek terbanyak memiliki berbagai efek fungsional seperti anti-obesitas, anti-diabetes, anti-inflamasi, anti kanker, pelindung kardiovaskular, hepatoprotektif, dan neuroprotektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, K.A., Khalil, S.K., Moer Hussin, A.S. 2010. Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*. 2(2):90-100.
- Asbar, R. (2014). Peningkatan Pati Resiten Tipe III Pada Tepung Singkong Modifikasi (Mocaf) Dengan Perlakuan Pemanasan-Pendinginan Berulang Dan Aplikasinya Pada Pembuatan Mie Kering (Tesis). Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J. L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips, G. J., Rowling, M., Schalinske, K., Paul Scott, M., & Whitley, E. M. (2013). Resistant starch: Promise for improving human health. *Advances in Nutrition*, 4(6), 587–601.
<https://doi.org/10.3945/an.113.004325>.
- Cao, S.Y., Zhao, C.N., Xu, X.Y., Tang, G.Y., Corke, H., Gan, R.Y., Li, H.B. 2019. Dietary plants, gut microbiota, and obesity: Effect and mechanisms. *Trends Food Sci. Technol.* 92:194-204.
- Chen, SH., Li, X., Shih, P., Pai, S. (2020). Preparation of Thermally Stable and Digestive Enzyme Resistant Flour Directly from Japonica Broken Rice by Combination of Steam Infusion, Enzymatic Debranching and Heat Moisture Treatment. *Food Hydrocoll.* 108: 106022.
doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106022.
- Chen, X.F., Chen, X., Tang, X. 2020. Short-chain fatty acid, acylation and cardiovascular diseases. *Clin. Sci.*134:657-676.
- Cryan, J.F., O Riodan, K.J., Cowan, C.S.M., Sandhu, K.V., Bastiaanssen, T.F.S., Boehme, M., Codagnone, M.G., Cussotto, S., Fulling, C., Golubeve, a.V. 2019. The microbiota-gut-brain axis. *Physiol. Rev.*99:1877-2013.
- deVrese, M., Schrezenmeir, J. 2008. Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics. In *Food Biotechnologi*. Springer Berlin Heidelberg. pp.1-66.
- Dundar, D.N, Gocmen, D. 2013. Effect of Autoclaving Temperature and Storing Time on Resistant Starch Formation and Its Functional and Physicochemical Properties. *Carbohydrate Polymers*. 97(2): 764-771.
doi.org/10.1016/j.cabpol.2013.04.083.

- Englyst, H.N., Kingman, S.M., Cummings, J.H. 1992. Classification and Measurement of Nutritionally Important Starch Fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*. 46(Suppl.2). S33-S50.
- Englyst, H.N., Macfarlane, G.T. 1986. Breakdown of resistant and Readily Digestible Starch By Human Gut Bacteria. *Journal. Sci. Food Agric*. 37(7):699-706.
- Englyst, H.N., Wiggins, H.S., Cummings, J.H. 1982. Determination of the Non-starch Polysaccharides in Plant Foods by Gas-Liquid Chromatography of Constituent Sugars as Alditol Acetates. *Analyst*. 107:307-318.
- Fernandez, J., Redondo-Blanco, S., Gutierrez-del-Rio, I., Miguez, E.M., Villar, C.J., Lombi, F. 2016. Colon microbiota fermentation of dietary prebiotic towards short-chain fatty acids and their roles as anti-inflammatory and antitumor agents: A review. *J. Funct. Foods*. 25:511-522.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>.
- Fulton, D.C., Edward, A., Pilling, E., Robinson, H.L. 2002. Role of Granule Bound Starch Synthase in Determination of Amylopectin Structure and Starch Granule Morphology in Potato. *J. Biol. Chem*. Vol. 277:p.10834-1084.
- Garcia Alonso, A., Jimenez-Escrig, A., Martin-Carron, N. Bravo, L. Saura-Calixto, F. 1999. Assessment of Some Parameters Involved in The Gelatinization and Retrogradation of Starch. *Food Chemistry*. 66:181-187.
- Goswami, C., Iwasaki, Y., Yada, T. 2018. Short-chain fatty acids suppress food intake by activating vagal afferent. *J. Nutr. Biochem*. 57:130-135.
- Hasjim, J., Ai, Y., Jane JJ. 2013. Novel Application of Amylose-Lipid Complex as Resistant Starch Type 5, in *Resistant Starch: Application and health benefits*. 1st ed., Shi, Y., Maningat, C.C. Ed. IFT Press. Wiley Blackwell. 2013. 79-91.
- Haynes, L., Zimeri, J., & Arora, V. (2013). Biscuit Baking and Extruded Snack Applications of Type III Resistant Starch. *Resistant Starch*, 167–190. <https://doi.org/10.1002/9781118528723.ch09>.
- Herawati, H. 2010. Potensi Pengembangan Produk Pati Tahan Cerna Sebagai Pangan Fungsional. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 30(1):p11-20.
- Herawati, H. 2011. Potensi Pengembangan Produk Pati Tahan Cerna Sebagai Pangan Fungsional. *Litbang Pertanian*. 30(1):31-39.
- Hernandez, M.A.G., Canfora, E.E., Jocken, J.W.E., Laak, E.E. 2019. The short-chain fatty acid acetate in body weight control and insulin sensitivity. *Nutrients*. 11:1943.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal Distribution of The Chain Length of Amylopectins and its Significance. *Carbohydr. Res*. Vol. 147:p342-347.
- Huang, W.F., Kong, D.S. 2021. The intestinal microbiota as a therapeutic target in the treatment of NAFLD and ALD. *Biomed. Pharmacother*. 135:111235.
- Istri Sri Wiadnyani, A., Mayun Permana, I., Rai Widarta Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, I., Teknologi Pertanian, F., Udayana Jl Kampus Bukit Jimbaran, U., & Diterima, B.-B. (2017). Modifikasi Pati Keladi Dengan Metode Autoclaving-Cooling Sebagai Sumber Pangan Fungsional. *Scientific Journal of Food Technology*, 4(2), 2477–2739.
- Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wing, K.S., Radosavjjevic, M., Kasemsuwun, T. 2004. Effect of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. *Cereal Chem*. Vol. 76(3):p629-637.
- Leeman, MA., Karlsson, ME., Eliasson, AC., Bjorck, IME. 2006. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydrate Polymers*. 65(3): 306-313. doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.017.
- Li, B.Y., Mao, Q.Q., Zhou, D.D., Luo, M., Gan, R.Y., Huang, S.Y., Saimaiti, A., Shang, A., Li, H.B. 2021. Effect of tea against alcoholic fatty liver disease by modulating gut microbiota in chronic alcohol-exposed mice. *Foods*. 10:1232.
- Li, B.Y., Xu, X.Y., Gan, R.Y., Sun, Q.C., Meng, J.M., Shang, A., Mao, Q.Q., Li, H.B. 2019. Targeting gut microbiota for the prevention and management of diabetes mellitus by dietary natural products. *Foods*. 8:440.
- Li, X., Shimizu, Y., Kimura, I. 2017. Gut

- microbial metabolite short-chain fatty acids and obesity. *Biosci. Microbiota Food Health*. 36:135-140.
- Liu, H., Xie, F., Chen, L., and Yu Long. 2005. Thermal Behavior of High Amylose Corn Starch Studies by DSC. *International Journal of Food Engineering*. Vol 1:p 1-6.
- Liu, Q. 2005. Understanding Starches and Their Role in Food, Food Carbohydrates, Chemistry, Physical Properties and Application. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 2(3): p 80-87.
- Maria, F., Andrade-mahecha, M.M., Jose, P., Cacillia. 2013. Food Hydrocolloids Comparative Study on the Properties of Flour and Starch Films of Plantain Bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocoll.* Vol. 30(2): p 681-690.
- Marie-Magdeleine, C., Udino, L., Philibert, L., Bocage, B., Archimede, H. 2014. In Vitro Effects of *Musa Paradisiaca* Extracts on Four Developmental Stages of *Haemonchus Contortus*. *Res. Vet. Sci*. Vol. 96: p 127-132.
- Meng, J.M., Cao, S.Y., Wei, X.L., Gan, R.Y., Wang, Y.F. Cai, S.X.m Xu, X.Y., Xhang, P.Z., Li, H.B. 2019. Effect and mechanisms of tea for the prevention and management of diabetes mellitus and diabetic complications: An updated review. *Antioxidants*. 8.170.
- Meng, X., Li, S., Li, Y., Gan, R.Y., Li, H.B. Gut microbiota in chronic alcohol-exposed mice. *Foods*. 2021. 10.1232.
- Meutia, Y.R. 2010. Pati Resisten: Struktur, Preparasi, Dan Efek Fisiologisnya. *Review. Journal of Agro-Based Industry*. Vol.27(1) :72-84.
- Millan, R., Acefedo, E., Diaz, P. 2014. Annealing and Storage on Starch Digestibility and Physicochemical Characteristic of Unripe Banan Flour, *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*. Vol. 13: p 151-163.
- Mun, S.J., Lee, J., Chung, K.S., SOn, M.Y., Son, M.J. 2021. Effect of microbial short-chain fatty acids on CYP3A4-mediated metabolic activation of human pluripotent stem cell-derived liver organoids. *cells*. 10.126.
- Pratiwi, Ratih. 2008. Modifikasi Pati Garut (*Marantha arundinaceae* L.) Dengan Perlakuan Siklus Perlakuan Siklus Pemanasan Suhu Tinggi-Pendinginan (*Autoclaving-Cooling Cycling*) Untuk Menghasilkan Pati Resisten Tipe III. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rosida, D. F. (2021). *Modifikasi Pati Dari Umbi-Umbian Lokal*.
- Rosida, Harijono, Estiasih, T., & Sriwahyuni, E. (2015). Physicochemical properties and starch digestibility of autoclaved-cooled water yam (*Dioscorea Alata* L.) flour. *International Journal of Food Properties*, 19(8), 1659–1670. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1105818>.
- Sahuri-Arisoylu, M., Brody, L.P., Parkinson, J.R., Parkes, H., Navaratnam, N., Miller, A.D., Thomas, E.L., Frost, G., Bell, J.D. 2016. Reprogramming of hepatic fat accumulation and browning of adipose tissue by the short chain fatty acid acetate. *Int. J. Obes.* 40:955-963.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>.
- Sanna, S., Zuydam, N.R., Mahajan, A., Kurilshikov, A., Vich Vila, A., Vosa, U., Mujagic, Z., Masclee, A.A.M., Jonkers, D., Oosting, M. 2019. Causal relationships among the gut microbiome, short-chain fatty acids and metabolic diseases. *Nat. Genet.* 51600-605.
- Seitz, H.K., Bataller, R., Cortez-Pinto, H., Gao, B., Gual, A., Lackner, C., Mathurin, P., Mueller, S., Szabo, G., Tsukamoto, H. 2018. Alcoholic fatty liver disease. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 4.16.
- Setiarto, R. H. B. (2015). Improvement Resistant Starch Content from Taro Flour by Fermentation and Autoclaving- Cooling and It Prebiotic Properties. *Tesis, August 2015*, 1–95. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33707.23849>.
- Setiarto, R. H. B., Kusumaningrum, H. D., Sri, B., Jenie, L., Khusniati, T., & Widhyastuti, N. (2018). *Pengaruh Proses Panas terhadap Sifat Prebiotik Pati Talas (Colocasia Esculenta L. Schott)*. <https://doi.org/10.5220/0009978900002833>.
- Shin, S., Byun, J., Park, K.W., Moon, T.W. 2004. Effect of partial acid and moisture treatment of formation of resistant tuber starch. *Journal Cereal Chemistry*. 81(2):194-198.

- Srichuwong, S. 2006. Starches from different plant origins: from structure to physicochemical properties. Disertasi. Mie University. Japan.
- Sudheesh, C., Sunooj, J. V., Bhavani, B., Asliya, B., Navaf, M. (2020). Energeyic Neutral Atoms Assisted Development of Kithul (*Caryota urens*) Starch-Lauric Acid Complexes: A Characterization Study. *Carbohyd Polym.* 250:116991. doi: org/10.1016/j.carbpol.2020.116991.
- Sugiyono, Pratiwi, R., & Faridah, D. N. (2009). Arrowroot (*Marantha arundinacea*) starch modification through autoclaving-cooling cycling treatment to produce resistant starch type III. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 20(1), 17–24. <https://doi.org/10.6066/315>.
- Takeda, Y., Shitaozono, T., Hizukuri, S. 1990. Structures of sub-Fractions of Corn Amylose. *Carbohydrate Research.* 199(2):207-214.
- Turnbaugh, P., Ley, R., Mahowald, M. 2006. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature* 444. 1027-1031. <https://doi.org/10.1038/nature05414>.
- Weitkunat, K., Schumann, S., Nickel, D., Kappo, K.A., Petzke, K.J., Kipp, A.P., Blaut, M., Klaus, S. 2016. Importance of propionate for the repression of hepatic lipogenesis and improvement of insulin sensitivity in high-fat diet-induced obesity. *Mol. Nutr. Food Res.* 60:2611-2621.
- Winarno, F.G. 2004. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta. PT. Gramedia Pusaka Utama.
- Winarti, S., Jariyah., Anggreini, RA. 2019. Karakteristik dan aktivitas prebiotik pati resisten dari tepung umbi uwi (*Dioscorea alata*) temodifikasi. *Jurnal Teknologi Pangan.* Vol. 13(2):53-67.
- Wu, C., Sun, R., Zhang, Q., Zhong, G. (2020). Synthesis and Characterization of Citric Acid Esterified Canna Starch (RS4) by Semi-Dry Method Using Vacuum-Microwave-Infrared Assistance. *Carbohyd Polym.* 250:116985.
- Xiong, R.-G., Zhou, D.-D., Wu, S.-X., Huang, S.-Y., Saimaiti, A., Yang, Z.-J., Shang, A., Zhao, C.-N., Gan, R.-Y., Li, H.-B. 2022. Health Benefits and Side Effects of Short-Chain Fatty Acids. *Foods. Review.*2863. <https://doi.org/10.3390/foods11182863>.
- Xu, Q., Zhang, R., Mu, Y., Song, Y., Hao, N., Wei, Y., Wang, Q., Mackay, C.R.2022. Propionate ameliorate alcohol-induced liver injury in mice via the gut-liver axis: Focus on the improvement of intestinal permeability. *J. Agric. Food Chem.* 70.6084-6096.
- Yoo, SH., Jane, J. 2002. Molecular weights and gyration radi of amylopectins determined by high-performance size-exclusion chromatography equipped with multi-angle laser-light scattering and refractive index detectors. *Carbohydrate Polymers.* 49:307-314.
- Yusrina, F. 2019. Pengaruh Variasi Siklus Perebusan-Pendinginan Dan Suhu Retrogradasi Terhadap Pati Resisten Tepung Pisang Mentah (*Musa paradisiaca*) Dan Efek Fisiologisnya Terhadap Respon Glukosa Darah Dan Profil Lipid Tikus Wistar. *Tesis.* Universitas Brawijaya.
- Zhang, S., Zhao, J., Xie, F., He, H., Johnston, L.J., Dai, X., Wu, C., Ma, X.2021. Dietary fiber-derived short-chain fatty acids : A potential therapeutic target to alleviate obesity-related nonalcoholic fatty liver disease. *Obes. Rev.* 22.e13316.
- Rahayu, S.R. 2023. Pati Resisten Sukun (*Artocarpus altilis* (Pakinson) Fosberg) Tipe 3: Modifikasi Siklus *Autoclaving-Cooling*, Karakteristik Fisikokimia, Fungsional dan Profil Glukosa Darah Secara in Vivo. *Disertasi.* Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Tang Ma., Shen, X., Shin, X., Hafiz., Sakandar., Quan, K., Li, Y., Jin, H., Kwok., Zhang, H., Sun, Z. 2023. Targeting gut microbiota and metabolism as the major probiotic mechanism-An evidence-based review. *Trends in Food & Technology.* 138:178-198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.013>.
- Rocchetti, G., Gatti, M., Bavaresco, L., Lucini, L. 2018. Untargeted metabolomics to investigate the phenolic composition of Chardonnay wines from different origins. *Journal of Food Composition and Analysis.* doi:10.1016/j.jfca.2018.05.010.
- Chung, HJ., Liu, Q., Hoover, R. 2009. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymesr.* 75:436-447.