

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 polisakarida utama yang terdapat pada tanaman salah satunya umbi-umbian. Pati alami tersusun atas amilosa dan amilopektin dengan komposisi yang berbeda-beda pada setiap bahan pangan dengan kisaran kontribusi 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 cepat cerna (*rapidly digestible starch*), pati

lambat cerna (*slowly digestible starch*) dan pati resisten (RS).

Pati resisten (RS) adalah fraksi pati yang memiliki ketahanan terhadap hidrolisis enzim pencernaan sehingga dapat difermentasi oleh mikroflora di dalam usus (Englyst *et al.* 1982 dan Englyst *et al.* 1986). Berdasarkan asal dan proses pembuatan RS dibagi menjadi lima kelompok, yaitu RS tipe 1, RS tipe 2, RS tipe 3, RS tipe 4, dan RS 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 konten RS tipe 1 atau tipe 2. Pati resisten tipe 1 merupakan RS yang terdapat dalam matriks dan sel tanaman bahan pangan kaya pati, sedangkan RS tipe 2 adalah pati alami yang sangat resisten terhadap enzim pencernaan α -amilase dan umumnya memiliki granula pati berbentuk kristalin. Namun, dalam bentuk alaminya beberapa jenis pati tidak dapat diaplikasikan untuk semua tipe pengolahan, keterbatasan tersebut dikarenakan RS 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 RS yang diperoleh dari proses pemanasan dan pendinginan sehingga menghasilkan pati retrogradasi atau amilosa 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 diproses dengan 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). Dari kelima tipe RS, RS 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 secara langsung dari bahan bakunya ataupun melalui proses modifikasi (Herawati 2010). Sifat fisik dan kimia tersebut dapat diubah dengan cara memotong dan menyusun kembali struktur molekul, substitusi gugus kimia maupun oksidasi pada pati menggunakan teknik modifikasi 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

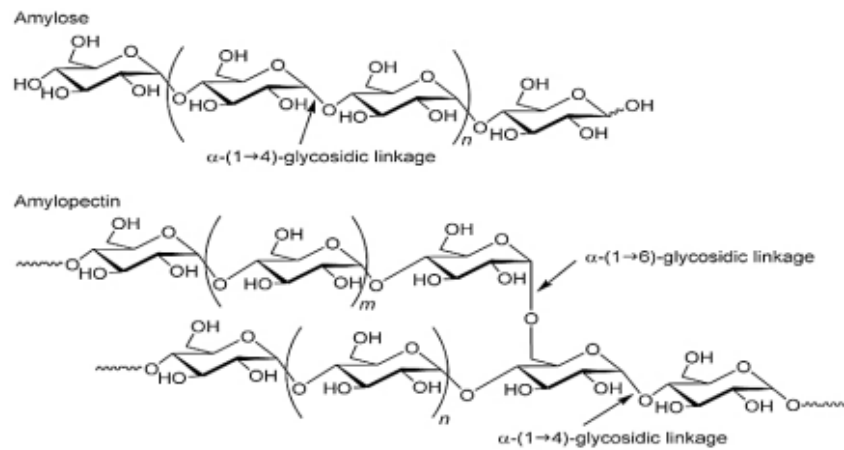
Pati modifikasi adalah pati yang gugus hidroksilnya telah diubah melalui reaksi kimia ataupun dengan mengganggu struktur asalnya sehingga dapat menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan (Rosida 2021). Pati alami merupakan pati yang tersusun atas amilosa dan amilopektin, amilosa adalah molekul linear primer dengan ikatan α -1,4-D-glukosa dengan berat molekul berkisar $8,1 \times 10^4$ - $9,7 \times 10^5$ g/mol (Takeda *et al.* 1990; Jane 2004). Sedangkan amilopektin merupakan molekul bercabang dengan ikatan α -1,6-D-glukosa dengan berat molekul sekitar $7,0 \times 10^7$ – $5,7 \times 10^9$ g/mol (Hizukuri 1986; Yoo dan Jane 2002). Amilosa memiliki sifat keras (pera), mudah menyerap dan melepaskan air sedangkan amilopektin memiliki sifat lengket dan sulit untuk mengikat air tetapi bila sudah terikat, air tersebut akan dipertahankan. 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 peristiwa molekuler berkaitan dengan pemanasan pati didalam air yang ditandai dengan terjadinya pengembangan (*swelling*) granula pati, peluruhan (*melting*) dari bagian kristalin, peningkatan kekentalan dan peningkatan kelarutan pati (Marie *et al.*, 2014).

Pengembangan granula pati terjadi akibat molekul-molekul air masuk kedalam granula dan terperangkap pada susunan molekul amilosa dan amilopektin. Liu *et al.*, (2005) melaporkan bila semakin tinggi suhu suspensi pati, maka granula pati semakin membesar. Mekanisme tersebut disebabkan ikatan hidrogen yang menghubungkan molekul amilosa dan amilopektin semakin melemah akibat suhu pemanasan yang meningkat. Hal tersebut dapat mengganggu kekompakan dari granula pati.

Peningkatan suhu yang terjadi dapat mengakibatkan molekul-molekul air mempunyai energi kinetik yang lebih tinggi sehingga akan dengan mudah berpenetrasi ke dalam granula. Air akan terikat secara simultan dalam molekul amilosa dan amilopektin yang mengakibatkan pengembangan granula. Setelah pengembangan granula mencapai maksimum, pemanasan pada suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan penurunan kekentalan pasta pati (Millan *et al.*, 2014). Maria (2013) melaporkan jika gelatinisasi terlebih dahulu terjadi pada granula yang memiliki ukuran lebih besar. Adanya gelatinisasi juga menyebabkan disosiasi heliks ganda pada amilopektin dan *amylose leaching* pada pemanasan suspensi pati diatas suhu gelatinisasinya. Hal tersebut dikarenakan amilosa pada granula pati berada pada daerah amorf, sehingga lebih mudah berdifusi dari granula pati.

Retrogradasi merupakan proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami



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

gelatinisasi (Winarno 2004). Retrogradasi merupakan perubahan yang menyebabkan pati yang sebelumnya terdisosiasi menjadi terasosiasi selama proses pendinginan yang sehingga terjadi penurunan kelarutan molekul pati. Terdapat 2 proses yang terjadi selama retrogradasi, yaitu *rigidity* dan *crystallinity*. Srichuwong (2006) melaporkan retrogradasi pati terjadi akibat pembentukan kembali ikatan hidrogen antar molekul amilosa dan amilopektin, terutama pada molekul amilosa.

Pembentukan ikatan hidrogen antara molekul amilosa lebih mudah terbentuk, hal tersebut dikarenakan semakin banyak molekul amilosa yang keluar dari granula pati selama proses gelatinisasi, maka akan semakin banyak pati retrogradasi yang terbentuk selama pendinginan. Terdapat beberapa perubahan yang akan terjadi akibat retrogradasi diantaranya adalah peningkatan resistensi molekul amilosa dan amilopektin terhadap hidrolisis enzim amilolitik, penurunan kemampuan transmisi cahaya serta

hilangnya kemampuan pembentukan kompleks berwarna biru ketika ditambahkan iodin. Selain itu, retrogradasi dapat meningkatkan kelarutan gel, menyebabkan gel pati kehilangan kemampuan dalam mengikat air dan terbentuknya kristal dengan ukuran besar (Fulton *et al.*, 2002).

Rocchetti *et al.* (2018) melaporkan bahwa modifikasi pati alami menjadi RS 3 menyebabkan ikatan hidrogen antar intra-molekul 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 pembekakan, pemecahan dan/atau peledakan granula yang membatasi ekspansi dan kontak dengan enzim pencernaan (Sudheesh *et al.* 2020). Amilopektin memiliki sifat yang mudah untuk

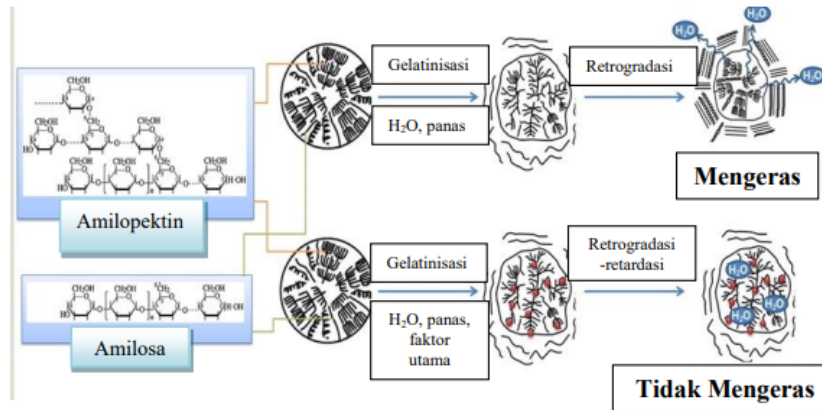
dipengaruhi secara struktur baik dengan perlakuan fisik, kimia, dan enzimatis (Winarti *et al.* 2019; Wu *et al.* 2020). Hidrolisis pati selama pemanasan secara sempurna akan mengakibatkan tegangan pada ikatan bergeser serta memutuskan ikatan antar molekul dan struktur granula amilopetin (Chung 2009).

Modifikasi *autoclaving-cooling*

Pati resisten tipe 3 adalah jenis RS yang paling banyak digunakan sebagai bahan baku fungsional berbasis RS (Setiarto 2015). Kandungan RS 3 pada pati alami umumnya rendah sehingga perlu ditingkatkan melalui teknik modifikasi. Teknik *autoclaving-cooling* merupakan salah satu metode modifikasi fisik yang telah banyak dilakukan. *Autoclaving-cooling* menggunakan suhu tinggi diatas suhu gelatinisasi pati. Prinsip dari metode ini adalah pati yang disuspensikan dalam air lalu dipanaskan pada suhu tinggi kemudian didinginkan sehingga menghasilkan pati rantai pendek yang teretrogradasi (Setiarto 2015). Produksi RS 3 pada dasarnya melalui 3 tahapan yaitu pemutusan rantai cabang, gelatinisasi, dan retrogradasi pati dalam kondisi-kondisi yang dioptimalkan meliputi suhu penyimpanan dan konsentrasi pati (Zaragoza *et al.*, 2010; Setiarto 2015). Melalui ikatan hidrogen fraksi amilosa yang berikatan dengan fraksi amilosa lainnya akan membentuk struktur *double helix*. Struktur *double helix*

selanjutnya akan berikatan dengan *double helix* lainnya membentuk kristalit. Hal tersebut akan menyebabkan rekristalisasi fraksi amilosa yang dikenal sebagai proses pembentukan RS 3 (Setiarto 2015). Metode *autoclaving-cooling* dapat dilakukan dengan teknik berulang atau bersiklus. Pratiwi *et al.* (2008) melaporkan bahwa siklus *autoclaving-cooling* yang lebih banyak dapat menyebabkan terjadinya depolimerisasi amilosa dan/atau amilopektin rantai terluar pada bagian kristalin.

Proses *autoclaving-cooling* berulang dapat menyebabkan pembentukan pati teretrogradasi sehingga kemampuan daya cerna pati menjadi menurun dan kadar pati resisten meningkat. Penurunan daya cerna pati tersebut terjadi melalui mekanisme penyusunan ulang molekul pati antara amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, amilopektin-amilopektin yang akan berdampak pada ikatan pati yang semakin kompak sehingga pati menjadi lebih sulit tercerna (Zaragoza *et al.*, 2010). Perubahan struktur dan sifat pati karena siklus *autoclaving-cooling* sangat bergantung pada jenis tanaman. Shin (2004) melaporkan bahwa jenis umbi-umbian lebih rentan dibandingkan biji-bijian maupun kacang-kacangan pada pemberian perlakuan siklus *autoclaving-cooling* (Shin 2004).



Gambar 1. Mekanisme proses pembentukan RS menggunakan metode autoclaving-cooling (Sumber: Zaragoza et al., 2010).

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.) Peningkatan kadar pati resisten juga dilaporkan pada pati garut perlakuan *autoclaving-cooling* 5 siklus dengan waktu gelatinisasi 15 menit memberikan dampak peningkatan dua kali lipat dibandingkan kadar RS yang berasal dari kentang sebesar 5,6% dan ubi jalar sebesar 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). Perbedaan *autoclaving-cooling* berulang terletak pada proses pemanasan dan

pendinginan yang diberikan. Yusrina (2019) melaporkan bahwa *autoclaving-cooling* 1 siklus terdiri dari perebusan dan pendinginan, 2 siklus terdiri dari perebusan-pendinginan-perebusan-pendinginan dst. Proses *autoclaving-cooling* berulang dapat mengakibatkan peningkatan penyusunan amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin serta peningkatan kristalin menjadi lebih sempurna yang mengakibatkan kadar meningkat. (Yusrina 2019). Pembentukan RS 3 paling optimum terjadi apabila konsentrasi suspensi pati dalam air sebesar 20% (b/b) dengan suhu *autoclave* 121°C (Leeman *et al.*, 2006 dan Zaragoza *et al.*, 2010). Konsentrasi suspensi pati yang lebih kecil ataupun lebih besar dari 20% (b/b) menghasilkan kadar RS 3 cenderung menurun.

Peningkatan kadar RS pada *autoclaving-cooling* berulang dapat terjadi dikarenakan pada proses modifikasi memerlukan air dalam kadar yang lebih banyak. Hal tersebut menyebabkan ikatan hidrogen dapat

membentuk struktur *double helix* melalui fraksi-fraksi amilosa secara maksimal. Kadar air yang lebih sedikit kemungkinan membuat struktur *double helix* amilosa tidak terbentuk maksimal pada proses gelatinisasi siklus selanjutnya, sehingga jumlah amilosa yang keluar dari granula tidak optimum (Sajilata *et al.*, 2006). Hal tersebut mengakibatkan jumlah amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin yang mengalami reasosiasi pada saat retrogradasi lebih sedikit, sehingga kadar RS yang terbentuk cenderung rendah. Selain itu, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kadar RS yang terbentuk, diantaranya adalah: (1) rasio amilosa: amilopektin, amilosa yang lebih tinggi dapat meningkatkan kadar RS; (2) rasio pati: air dalam pembuatan RS; (3) suhu *autoclaving* yang digunakan, (4) banyaknya siklus pada proses modifikasi (Sajilata *et al.*, 2006).

Sifat Fungsional Pati Resisten

Pati resisten (RS) didefinisikan sebagai pati yang memiliki ketahanan terhadap hidrolisis enzimatis di usus kecil dan masuk ke usus besar sehingga dapat difermentasi oleh mikroflora usus (Englyst *et al.* 1983; Englyst dan Macfarlane 1986). Efek fisiologis utama dari makanan yang mengandung RS adalah karena dapat difermentasi oleh mikrobiota dalam usus besar yang dikenal sebagai efek prebiotik. Suatu bahan pangan dapat dikatakan sebagai prebiotik apabila memiliki sifat tidak

dapat dihidrolisis oleh asam lambung dan enzim pencernaan, tidak dapat diabsorpsi saluran gastrointestinal bagian atas, dapat dijadikan 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 asam lemak rantai pendek (*short fatty acid/SCFA*). Asetat, propionat, dan butirrat merupakan tiga SCFA utama yang diproduksi oleh mikrobiota usus melalui jalur berbeda (Chen *et al.* 2020).

Asetat diproduksi dari piruvat melalui asetil-KoA dan melalui jalur Wood-Ljungdahl, butirrat 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, dan neuroprotektif (Fernandez *et al.* 2016; Li *et al.* 2017; Chen *et al.* 2020). Manfaat kesehatan dan mekanisme SCFA dapat dilihat pada Gambar 2.

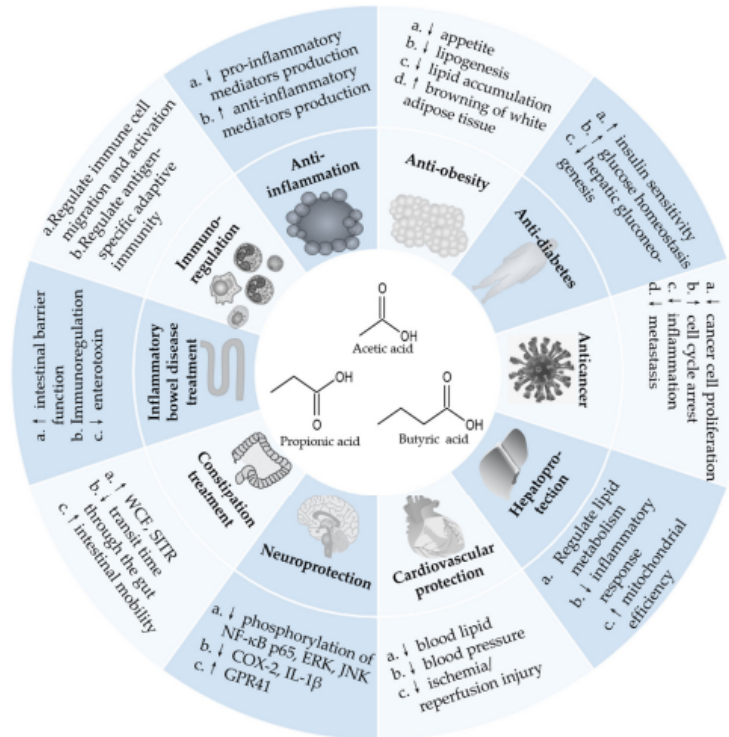
Tabel 1. Beberapa penelitian peningkatan RS dengan *autoclaving-cooling* berulang pada umbi-umbian

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

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). *Short chain fatty acid* (SCFA) terutama butirir, 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).



Gambar 2. 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; SFTR, tingkat transit usus kecil; WCF, kadar air feses. (Sumber: Xiong *et al.*, 2022)

Selain obesitas, diabetes juga merupakan penyakit yang terjadi akibat adanya kelainan pada metabolisme tubuh.

Mekanisme SCFA Pada Diabetes

Penyakit diabetes melitus ditandai dengan terjadinya hiperglikemia yang disebabkan oleh penurunan sekresi insulin atau resistensi insulin (Li *et al.* 2019; Meng *et al.* 2019). International Diabetes Melitus Federation memprediksikan bahwa 592 juta orang akan menderita diabetes melitus pada tahun 2035 diseluruh dunia. Propionat mampu melemahkan resistensi insulin yang disebabkan oleh diet tinggi lemak dan meningkatkan sensitivitas insulin dengan

mekanisme kerja yang berhubungan dengan merangsang produksi asam lemak rantai ganjil (OCFA) (Weitkumat *et al.* 2016). Butirat 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 melitus tipe 1 (Liu *et al.* 2021). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa suplementasi butirat secara oral dan infus dapat mencegah resistensi insulin yang disebabkan oleh 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).

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- κ B seperti tol hati. Terjadinya NAFLD berkaitan dengan gangguan mikroflora 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). Sedangkan, kerusakan hati yang disebabkan oleh obat atau polutan, SCFA juga dapat memberi efek hepatoprotektif. 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 bahan makanan yang tidak dapat dicerna serta secara selektif dapat merangsang pertumbuhan dan/atau aktivitas beberapa mikroorganisme 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 Escheriacia 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 resisten pada bahan pangan. Mekanisme penyusunan ulang molekul pati antara amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin berdampak pada penguatan ikatan pati dan membuat 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 dapat difermentasi oleh mikrobiota dalam usus besar yang dikenal sebagai efek prebiotik. Prebiotik dimanfaatkan oleh bakteri probiotik sebagai substrat selektif dalam metabolisme yang menghasilkan asam lemak rantai pendek atau *short chain fatty acid* (SCFA). Asam lemak rantai pendek terutama asetat, propionat, dan butirat 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 Resisten 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 Riordan, 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., Miguelez, 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 antitumour 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.ch9>.
- 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 Tanpa 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., Mc, Phersin, 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/dk477v.
- Li, B.Y., Mao, QQ., 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 prebention and management of diabetes mellitus by dietaru 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 paradjsiaca*). *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 Digetibility 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 short0chai 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, KW., Moon, TW. 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](https://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 Esterfied 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 wights 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 Polymers*. 75:436-447.