

Pati Resisten pada Beras : Jenis, Metode Peningkatan, Efek untuk Kesehatan, dan Aplikasinya

Resistant Starch on Rice : Types, Enhancement Methods, Health Effects, and Its Applications

Riyanti Ekafitri

Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gajah Mada,
Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl.K.S.Tubun No. 5 Subang, Jawa Barat

*Email: riyantiekafitri@yahoo.com

Diterima : 14 September 2017

Revisi : 11 Desember 2017

Disetujui : 13 Januari 2018

ABSTRAK

Beras secara umum diketahui memiliki indeks glikemik (IG) yang relatif tinggi dibandingkan dengan makanan yang mengandung pati lainnya sehingga berpotensi menyebabkan penyakit diabetes. Salah satu ingredien pangan yang dapat berfungsi sebagai ingredien rendah IG dan dapat mencegah diabetes adalah pati resisten (RS). RS pada beras dapat disiapkan atau ditingkatkan kandungannya dengan modifikasi pati secara fisik, kimia dan enzimatis. Modifikasi pati akan mengakibatkan perubahan pada kandungan pati berdasarkan tingkat kecernaannya yaitu pati cepat cerna (RDS), pati lambat cerna (SDS) dan pati resisten (RS). RS dapat tergolong dalam RS tipe 1, 2, 3, 4, dan 5. Proses modifikasi pati dapat meningkatkan kandungan RS dan menurunkan IG pati beras. Kandungan RS pada beras diketahui dapat memberikan efek untuk kesehatan seperti menurunkan kandungan gula darah, meningkatkan berat badan pada mencit diabetes, menurunkan indeks organ, total kolesterol, dan total triasilgliserol serta dapat meningkatkan kadar HDL-kolesterol. Pada mencit obesitas, RS efektif menurunkan kenaikan berat badan dan memiliki pengaruh hipokolesterolemik. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi RS beras memberikan efek positif bagi kesehatan. Aplikasi menggunakan tepung beras tinggi pati resisten dan rendah IG menjadi *cake* dan mie merupakan salah satu langkah untuk meningkatkan keanekaragaman produk olahan pati/tepung beras rendah IG dan konsumsinya tidak memberikan efek peningkatan gula darah yang berujung pada penyakit diabetes.

kata kunci : aplikasi, efek kesehatan, modifikasi, pati resisten

ABSTRACT:

Rice is generally known has higher glycemic index (IG) than other starchy foods so it potentially causes diabetes. One of food ingredient that can function as low GI ingredient is resistant starch (RS). RS can be prepared or enhanced by modification of starch : physically, chemically and enzymatically. The starch modification can cause the change of starch content base on the digestibility of starch, such as rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS) and resistant starch (RS). RS can be classified into RS type 1,2, 3, 4, and 5. The process of starch modification can increase RS content dan decrease GI of rice starch. RS of rice is known can give some positive effect on health such as: decreases blood sugar, increases the weight of diabetic mice, decreases organ index, total cholesterol, and total triacylglycerol and increase HDL-cholesterol levels. In obesity mice, RS effectively decreases weight gain and has a hypocholesterolemic effect. So, it shows RS consumption has a positive effect on health. The application rice flour which contains high RS and low IG to cake and noodle is one step to increase the diversity of processed products base on low IG starch/rice flour. Its consumption does not give the effect to increasing blood sugar that causes diabetes.

Keywords : application, health effect, modification, resistant starch

I. PENDAHULUAN

Beras (*Oryza sativa* L) adalah makan pokok sekitar 3,5 milyar penduduk diseluruh dunia (IRRI, 2013) yang mendominasi di 17 negara di Asia dan Pasific, 9 negara di Utara dan Selatan Afrika, dan 8 negara di Amerika (FAO Report, 2004). FAO (2015) melaporkan bahwa di Asia produksi beras tahun 2014–2015 sebesar 494,4 juta ton, sementara produksi beras tahun 2015 di Amerika diperkirakan sekitar 192 juta metrik (USDA, 2015). Beras merupakan komoditas pangan yang dijadikan makanan pokok bagi bangsa Asia, khususnya Indonesia, Thailand, Malaysia, Vietnam, Jepang, dan Myanmar (Ambarinanti, 2007).

Beras merupakan salah satu sumber karbohidrat yang penting yang digunakan dalam penyiapan makanan. Namun, beras secara umum diketahui memiliki indeks glikemik yang relatif tinggi dibandingkan dengan makanan yang mengandung pati lainnya (Srikaeo dan Pablo, 2015). Hu, dkk. (2004) melaporkan bahwa indeks glikemik beras berkisar antara 54–121. Indeks glikemik adalah skala yang memeringkat makanan kaya kabohidrat berdasarkan kemampuannya untuk menaikkan kandungan gula darah ketika dikonsumsi dibandingkan dengan standar makanan dalam hal ini adalah roti putih (Shobana, dkk., 2012). Menurut Miller, dkk. (1998) indeks glikemik bahan pangan digolongkan menjadi tiga kategori yaitu: bahan pangan dengan indeks glikemik rendah ($IG < 55$), bahan pangan dengan indeks glikemik sedang ($55 \leq IG \leq 70$), dan bahan pangan dengan indeks glikemik tinggi adalah ($IG > 70$).

Soriguer, dkk. (2013) menyatakan bahwa pada penduduk Selatan Spanyol yang mengkonsumsi beras secara rutin lebih mudah terkena penyakit diabetes tipe 2. Senada dengan yang dikatakan oleh Mohan, dkk. (2009) bahwa konsumsi beras putih berhubungan dengan peningkatan rasio penyakit diabetes tipe 2. Hal ini disepakati oleh Miller, dkk. (2009) yang menyatakan bahwa kejadian tersebut disebabkan oleh

konsumsi beras pada kisaran IG yang luas. Konsumsi beras yang mengandung IG tinggi dapat memicu penyakit diabetes tipe 2.

Penyakit diabetes tipe 2 (*Type 2 diabetes mellitus/T2DM*) adalah penyakit umum metabolisme dan endokrin disebabkan oleh kehilangan insulin relatif dalam darah sehingga menyebabkan hiperglikemia dan diabetes, yang selanjutnya mengakibatkan penyimpangan metabolisme lemak dan protein (Shaw, dkk., 2010). Komplikasi penyakit diabetes berasosiasi dengan kegemukan, kerusakan oksidatif, disfungsi dan kerusakan organ (Huang, dkk., 2005; Sharma, dkk., 2008). Diabetes juga sering kali dihubungkan dengan gejala tinggi kolesterol (Zhou, dkk., 2014). Oleh karena itu diperlukan suatu usaha yang dapat mencegah penyakit diabetes, salah satunya dengan mengkonsumsi bahan pangan rendah IG. Secara umum, produk pangan yang memiliki kandungan IG rendah memiliki efek yang bermanfaat dalam mengontrol gula darah, hiperinsulinemia, resistensi insulin, kadar lemak darah dan nafsu makan serta dapat mencegah dan mengatur kegemukan dan diabetes (Shobana, dkk., 2012).

Salah satu ingredien pangan yang dapat berfungsi sebagai ingredien rendah IG adalah pati resisten (RS) (Zhou, dkk., 2015). RS di definisikan sebagai pati yang tidak dapat dicerna, karena fraksi pati tidak dapat dicerna pada usus halus dan secara parsial difermentasi pada usus besar untuk menghasilkan *Short Chain Fatty Acid* (SCFA) dan produk-produk lainnya (Haralampu, 2000). RS memiliki efek fisiologis yang sama dengan serat pangan. RS dapat mempengaruhi berat badan dan keseimbangan energi dan meningkatkan ekresi lemak untuk mengurangi asupan kalori dan menurunkan kadar serum lipid (Losel dan Claus, 2005). Penyerapan RS dapat menurunkan sekresi inulin dan mengontrol postprandial gula darah untuk mencegah diabetes (Weickert dan Mohlig, 2005). FAO memasukkan RS dalam daftar sebagai serat pangan yang dapat mencegah penyakit

T2DM pada tahun 1990 (Devries, 2004). Oleh karena itu, pemeriksaan penyiapan dan fungsi untuk meningkatkan RS menjadi penting untuk dilakukan.

Beberapa metode telah dilaporkan dapat digunakan untuk menyiapkan atau meningkatkan kandungan RS dalam bahan pangan, di antaranya adalah modifikasi pati secara fisik, kimia dan enzimatis. Penyiapan RS dengan modifikasi fisik dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti perlakuan hidrotermal, *autoclaving* (Ashwar, dkk., 2016), *annealing* (Hung, dkk., 2016a) dan *heat moisture treatment* (HMT) (Hung, dkk., 2016ab). Perlakuan modifikasi kimia dapat dilakukan dengan menggunakan perlakuan asam (Sha, dkk., 2012). Perlakuan modifikasi enzimatis diantaranya dapat dilakukan menggunakan enzim α -amilase dan *pulunase* (Zhou, dkk., 2014). Selain itu dapat pula dilakukan dengan perlakuan dual modifikasi (Zhou, dkk., 2014; Hung, dkk., 2016b).

Penyiapan dan peningkatan RS beras dengan berbagai metode diharapkan dapat meningkatkan kandungan RS pada beras dan pengaruhnya terhadap kesehatan tubuh. Selain itu pemanfaatannya dalam berbagai produk olahan pangan juga diharapkan dapat meningkatkan keragaman produk pati resisten yang dapat dinikmati oleh masyarakat. Oleh karena itu selanjutnya dalam ulasan ini akan dibahas mengenai jenis, metode penyiapan dan peningkatan RS, efek fisiologis/ kesehatan RS pati beras, dan aplikasinya pada produk olahan pangan.

II. JENIS PATI RESITEN PADA BERAS

Dari sudut pandang nutrisi pati terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan laju kecernaannya (Englist, dkk., 1992): *rapidly digestible starch* (RDS: fraksi pati yang tercerna dalam waktu 20 menit setelah makanan ditelan), *slow digestible starch* (SDS: fraksi pati yang dicerna dalam waktu 20-120 menit setelah makanan di telan) dan *resistent starch* (RS: fraksi pati yang tidak dapat dicerna dalam usus halus setelah makanan ditelan). Saat ini, konsumen menunjukkan peningkatan minat dalam memilih produk makanan yang sehat dan

memiliki nilai fungsional. RS memainkan peran utama dalam industri makanan kesehatan karena memiliki sifat yang mirip dengan serat larut dan tidak larut dalam saluran pencernaan. Pati resisten tahan terhadap enzim pencernaan manusia, lambat dalam pelepasan glukosa sehingga asupan energi berkurang pada sel-sel usus, yang terbukti dengan rendahnya indeks glikemik. Ini dapat membantu mengendalikan glukosa pada penderita diabetes dan mengendalikan berat badan pada penderita obesitas. Sejalan dengan itu, menurut Liu, dkk. (2015) RS memiliki sifat dan fungsi seperti serat pangan, yaitu mengandung nilai energi yang rendah, dapat menurunkan indeks glikemik, menurunkan kadarkolesterol dalam darah dan menurunkan resiko kanker kolon dengan cara memperbanyak produksi asam lemak rantai pendek, terutama asam butirat.

RS dibagi menjadi lima (Dupuis, dkk., 2014) yaitu : (i) RS tipe1 yang banyak ditemui pada biji-bijian; (ii) RS tipe 2 merupakan granula pati alami yang strukturnya membuat pati tersebut lambat dicerna. RS tipe 2 banyak ditemui pada kacang-kacangan, kentang, pisang hijau, dan pada pati jagung dengan amilosa tinggi; (iii) RS tipe 3 adalah pati teretrogradasi yaitu pati yang telah mengalami pemanasan dan pendinginan pada waktu tertentu, contoh nya pada pati jagung H7; (iv) RS tipe 4 adalah pati yang dimodifikasi secara kimia, dimana pati menjadi sulit dicerna melalui proses seperti : oksidasi, eterifikasi, esterifikasi atau dengan cara penyinaran sinar- γ ; dan (v) RS tipe 5 merupakan pati yang tidak dapat dicerna akibat terbentuknya kompleks antara amilosa dengan lipid. Berdasarkan penggolongan tersebut, diketahui bahwa pati beras alami memiliki RS tipe 1. Modifikasi pada pati beras selanjutnya dapat mengakibatkan perubahan tipe pati resisten sesuai dengan perlakuan yang diberikan, misalnya menjadi RS tipe 3,4, dan 5.

III. METODE PENINGKATAN KANDUNGAN RS BERAS

Banyak metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kandungan RS

(Zaragosa, dkk., 2010), antara lain: (i) metode perubahan genetik: perkawinan varietas tanaman tinggi amilosa, penghambatan enzim percabangan rantai pati; (ii) perlakuan fisik: HMT, *annealing*, *autoclaving* dan pendinginan, ekstrusi, tekanan hidrostatik tinggi; (iii) perlakuan enzimatik; (iv) modifikasi kimia: perlakuan asam, fosforilasi, karboksimetilasi, oksidasi, hidroksipropilasi, asetilasi, perlakuan dengan asam sitrat, dan penyinaran dengan sinar- γ ; dan (v) pengikatan dengan lipid.

3.1. Metode Perubahan Genetik

Modifikasi pati dengan perubahan genetik telah dilakukan untuk mengembangkan varietas beras rendah indeks glikemik. Beras transgenik tinggi amilosa dikembangkan dengan penghambatan antisense RNA dari enzim percabangan pati (*Starch branching enzyme/ SBE*). Tepung beras dari galur varietas transgenik ini memiliki kandungan amilosa hingga 49,2 persen dan RS 14,9 persen (Zhu, dkk., 2012). Jiang, dkk. (2010) menyatakan bahwa biji-bijian sereal dengan amilosa tinggi merupakan sumber pati resisten.

Itoh, dkk. (2017) mengembangkan galur beras mutan dengan SSIIa (*starch synthase II activity*) dan GBSS I (enzim *granule-bound starch syntase I*) dari beras indica yang disilangkan dengan beras japonica yang rendah kandungan SBE (BEIIa dan BEIIb) untuk menghasilkan jalur beras dengan kuantitas RS yang tinggi. Pada barley (Morell, dkk., 2003), gandum (Yamamori, dkk., 2000), dan jagung (Liu, dkk., 2012), rendahnya SSIIa menghasilkan kandungan amilosa dan RS yang tinggi. Tingginya kandungan amilosa dan RS juga ditentukan oleh ekspresi GBSS (*granule-bound starch syntase*) yang tinggi. GBSS (*granule-bound starch syntase*) merupakan enzim yang dikode oleh *Waxy* gen, yaitu gen utama yang mengatur sintesis amilosa (Zhu, dkk., 2012). Itoh, dkk. (2017) menyatakan bahwa kurangnya BEIIb merupakan langkah yang efektif untuk meningkatkan kandungan RS. Hal ini disebabkan enzim ini merupakan enzim yang berperan penting dalam pembentukan

amilopektin. Semakin sedikit amilopektin, maka semakin tinggi amilosa sehingga sumber pati resisten semakin tinggi. Itoh, dkk. (2017) menghasilkan jalur beras mutan dengan kandungan RS 25,7 persen.

3.2. Metode Modifikasi Fisik

Penyiapan pati resisten beras dengan metode fisik dapat dilakukan dengan metode HMT dan *annealing*. HMT merupakan metode modifikasi pati secara fisik dengan cara memberikan perlakuan panas pada suhu diatas suhu gelatinisasi (80–120 °C) dengan kondisi kadar air terbatas atau dibawah 35 persen (Collado, dkk., 2001) selama periode waktu tertentu (Syamsir, dkk., 2012). *Annealing* (ANN) merupakan perlakuan hidrotermal yang dilakukan kondisi air berlebih (>40persen) pada suhu rendah (suhu dibawah suhu gelatinisasi) (Zeng, dkk., 2015).

Peningkatan RS dengan modifikasi fisik pada berbagai variasi kandungan amilosa pada pati beras dilakukan dengan metode HMT dan ANN oleh Hung, dkk. (2016a). Perlakuan HMT dilakukan dengan memanaskan pati pada suhu 110°C selama 8 jam pada kondisi kadar air 30 persen. Proses *annealing* dilakukan dengan cara pemanasan pati pada suhu 45°C selama 24 jam dengan penggunaan air sebanyak dua kali lipat jumlah pati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pati beras tinggi amilosa, sedang amilosa, normal, rendah amilosa, dan pati beras *waxy* memiliki kandungan amilosa berturut-turut 30,6 persen, 26,7 persen, 24,3 persen, 21,7 persen dan 4,7 persen. Menurut Hung dkk. (2016a) pada pati beras, setelah perlakuan HMT, terjadi penurunan RDS, peningkatan SDS dan RS dibandingkan dengan pati alami. Perlakuan perbedaan kandungan amilosa menunjukkan bahwa pati beras dengan kandungan rendah amilosa memiliki RDS yang rendah (63,8 persen) dibandingkan dengan RDS pati dengan kandungan amilosa tinggi (73,2 persen). Jumlah SDS dan RS pada pati beras rendah amilosa (17,5 persen dan 18,7 persen) dan pati beras *waxy* yang sudah dikenai perlakuan HMT (24,0 dan 18,5 persen) lebih

tinggi dibandingkan dengan kandungan RS dan SDS pati alami (12,8 dan 10,2 persen). SDS pati beras rendah amilosa dan waxy (17,5 dan 24,0 persen) lebih tinggi dibandingkan pada SDS beras tinggi amilosa (4,4 persen), beras sedang amilosa (11,1 persen), dan beras normal amilosa (10,8 persen). RS pada pati beras rendah amilosa dan waxy (18,7 dan 18,5 persen) lebih rendah dibandingkan dengan RS pati beras tinggi amilosa (22,4; 22,6 dan 23,9 persen). Hal ini disebabkan oleh perubahan struktur lamela pada pati beras waxy dan tinggi amilosa berbeda setelah HMT. Interaksi rantai pati setelah perlakuan HMT pada pati beras tinggi amilosa lebih stabil dibandingkan pada pati beras waxy. Komplek amilosa-lipid juga berkontribusi dalam peningkatan pati resisten pada pati beras tinggi. Hal serupa dilaporkan pula oleh Zavareze dkk. (2012) yang melakukan proses HMT pada pati beras pada kadar air 15,20, dan 25 persen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar air, kandungan RS pada pati beras rendah, sedang, dan tinggi amilosa semakin meningkat. Perlakuan HMT pada pati beras amilosa tinggi meningkatkan kandungan RS hampir dua kali lipat yaitu dari 1,06 persen menjadi 2,2 persen. Kecenderungan yang sama ditunjukkan pada kandungan RS pati beras amilosa sedang dan amilosa rendah yang meningkat sebanyak 72 persen dan 58 persen dibanding pati beras alami. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi amilosa, kandungan RS pada pati beras semakin tinggi. Zeng dkk. (2015) menyatakan bahwa perlakuan HMT pada pati beras waxy pada suhu 110°C selama 8 jam dengan kadar air 12 persen menurunkan kandungan RDS 15,74 persen, meningkatkan SDS, sebesar 20 persen, tetapi menurunkan RS 18,09 persen. Hal ini berbeda dengan yang diungkapkan oleh Hung dkk. (2016a) yang dapat disebabkan karena pengaruh : (i) sumber dan jenis pati; (ii) kadar air selama proses HMT; (iii) suhu dan waktu proses HMT; (iv) interaksi amilosa-lipid, (interaksi amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, dan amilopektin-amilopektin (Franco, dkk., 1995; Gunaratne dan Hoover, 2002; Hoover dan Vasanthan, 1994a).

Perlakuan *annealing* juga meningkatkan kandungan SDS dan RS (Hung, dkk., 2016a). Semua jenis beras dengan kandungan amilosa berbeda memiliki peningkatan RS dan SDS kecuali pada pati beras yang mengandung amilosa medium yang tidak mengalami peningkatan dibandingkan pati alami (Hung, dkk., 2016a). Kandungan RS pada beras yang sudah dikenai perlakuan *annealing* meningkat dengan berkurangnya kandungan amilosa. Pati beras tinggi amilosa setelah perlakuan *annealing* memiliki kandungan SDS yang lebih tinggi (10,7 persen) dan pati resisten yang lebih rendah (19,5 persen) dibandingkan pada pati yang dikenai perlakuan HMT (SDS 4,4 persen dan pati resisten 22,4 persen). Kandungan RS pada pati rendah amilosa setelah perlakuan *annealing* lebih tinggi (24,4 persen) dibandingkan setelah perlakuan HMT (18,5 persen). Peningkatan stabilitas panas pada SDS dan RS disebabkan adanya interaksi yang terbentuk selama proses *annealing* dan HMT yang bertahan hingga setelah gelatinisasi, sehingga membatasi akses rantai pati untuk dihidrolisis oleh enzim. Namun, menurut Zeng, dkk. (2015) perlakuan *annealing* pada pati beras waxy menurunkan SDS dan RS. Pati beras waxy alami memiliki SDS dan RS sebesar 45,5 dan 22,1 persen. Setelah mengalami perlakuan *annealing* pada kadar air 80 persen yang diinkubasi pada suhu 50°C selama 24 jam kemudian dikeringkan pada suhu 40°C pati beras waxy memiliki kandungan SDS dan RS sebesar 43,6 dan 17,7 persen. Penurunan dapat disebabkan oleh: interaksi cabang amilosa-amilosa, dan amilopektin-amilopektin, kesempurnaan kristalin, dan pembentukan kompleks amilosa-lipid (Hoover dan Vasanthan, 1994b; Jacobs, dkk., 1998), serta peningkatan porositas granula sehingga memfasilitasi masuknya enzim kedalam internal granula yang memberi pengaruh pada kesempurnaan daerah kristalin pada pati untuk dicerna (O'Brien and Wang, 2008).

Selain perlakuan HMT dan *annealing*, peningkatan kandungan RS pada beras dapat dilakukan dengan metode *Autoclaving-retrogradation* (Ashwar, dkk., 2016). Produksi

RS menggunakan metode ini dilakukan dengan memasak campuran pati beras dan air pada perbandingan pati : air 1:4 pada pemasak bertekanan dengan suhu 121°C selama 30 menit. Pasta pati yang sudah diberi tekanan kemudian didinginkan hingga suhu ruang kemudian disimpan pada suhu 4°C selama 24 jam. Siklus *autoclaving-retrogradation* ini diulang 1–5 kali. Kemudian pasta pati beras tersebut dikeringkan pada oven pengering suhu 45°C dan dihaluskan. Pembentukan pati resisten pada proses *autoclaving-retrogradation* terjadi dalam dua tahap. Pada proses *autoclaving*, gelatinisasi pati yang terhidrasi terjadi karena rantai amilosa keluar dari granula sebagai rantai acak. Selama pendinginan terjadi retrogradasi karena rantai linier amilosa mengalami rekristalisasi dan terbentuk *doublehelix* yang distabilkan oleh ikatan hidrogen yang tahan terhadap hidrolisis enzim (Ashwar, dkk., 2015; Simsek, dkk., 2012). Menurut Ashwar, dkk. (2016), peningkatan RS pati beras dengan *autoclaving-retrogradation* cukup tinggi yaitu semula 4,42–10,94 persen menjadi 30,31–38,65 persen.

Peningkatan pati resisten yang dilakukan oleh Hung, dkk. (2016b); Zavareze, dkk. (2012); Zeng, dkk. (2015); Ashwar, dkk. (2016) secara umum menunjukkan bahwa peningkatan pati resisten dipengaruhi oleh kandungan amilosa pada beras dan interaksi rantai amilosa-amilosa, amilosa-amilopektin, amilopektin-amilopektin, dan amilosa-lipid, dan kristalisasi sehingga membatasi akses rantai pati untuk dihidrolisis oleh enzim.

3.3. Metode Modifikasi Enzimatik (dan Kombinasinya)

Shi dan Qun (2011) menghasilkan RS tipe 3 dari pati beras *waxy* (tinggi amilopektin) menggunakan metode hidrolisis enzim. *Pulunase* merupakan enzim pemotong rantai pada pati yang diproses. Ketika *slurry* pati dipanaskan dan dimasak akan membentuk gel pati yang apabila ditambahkan *pulunase*, molekul amilopektin akan terpotong menjadi rantai amilosa pendek dan amilosa akan berasosiasi kembali membentuk struktur

granula yang baru dan struktur kristalin yang kuat selama pendinginan sehingga terbentuk RS 3. Shi dan Qun (2011) melaporkan bahwa kandungan pati resisten dari pati beras *waxy* mencapai maksimum sebesar 28,61 persen dengan penggunaan *pulunase* sebanyak 44 ASPU/g. Selain dipengaruhi oleh konsentrasi *pulunase*, kandungan RS juga dipengaruhi oleh waktu pemutusan rantai. Semakin lama waktu pemutusan rantai, kandungan RS juga semakin meningkat kemudian menurun. Proses pemutusan rantai selama 12 jam menghasilkan RS sebesar 28,61 persen. Terlalu lama atau terlalu sebentar proses pemutusan tidak menghasilkan RS yang maksimal.

Zhou, dkk. (2014) juga melakukan modifikasi pati beras secara enzimatik yang membandingkan perlakuan menggunakan dua jenis enzim yaitu enzim α -amilase dan *pulunase* (*Dual Modification Treatment*), penggunaan satu jenis enzim yaitu α -amilase (*Single Modification Treatment*), dan perlakuan fisik HMT. α -amilase merupakan enzim pengubah pati yang tergolong endoamilase yang dapat memotong ikatan α 1-4 glikosidik dibagian dalam (endo-) pada rantai amilosa dan amilopektin, sedangkan *pulunase* merupakan enzim pemutus cabang yang eksklusif menghidrolisis ikatan α 1-6 glikosidik dalam pullulan dan amilopektin (Morell, dkk., 2003). *Pulunase* secara eksklusif mendegradasi amilopektin menghasilkan polisakarida rantai panjang yang lurus. Perlakuan dua jenis enzim menghasilkan pati beras yang memiliki kandungan RS tertinggi (47,0 persen) dibandingkan pati alaminya (2,52 persen). Perlakuan modifikasi menggunakan dua jenis enzim mengubah tipe kristalinitas pati yang semua memiliki tipe A menjadi kristalinitas pati kombinasi tipe B dan V, serta meningkatkan derajat kristalinitas pati (51,0 persen) lebih tinggi dibandingkan dengan modifikasi menggunakan satu jenis enzim (27,0 persen), HMT (20,2 persen), dan pati alaminya (18,1 persen). Selain itu perlakuan dua jenis enzim juga mengakibatkan perubahan struktur granula pati yang semula memiliki permukaan yang halus dengan bentuk poligonal yang

tidak teratur tanpa kerusakan dibawah pengamatan *scanning electron microscope* (SEM) menjadi struktur yang rapat, kompak dan berbentuk seperti lembaran yang sedikit halus dibandingkan dengan pati alaminya, tetapi granula pati dapat mempertahankan struktur partikel pati yang lengkap. Berdasarkan karakteristik sifat termal diketahui bahwa pati dengan perlakuan dua jenis enzim memiliki temperatur transisi fase (295°C) dan entalpi saat kristal terlarut (58,7 J/kg) tertinggi dibandingkan dengan pati yang dimodifikasi dengan satu jenis enzim dan HMT. Hal ini menunjukkan pati dengan modifikasi dua jenis enzim lebih stabil terhadap panas dibandingkan pati lainnya. Perubahan yang terjadi akibat proses modifikasi enzimatik dengan dua enzim yaitu *alfa amilase* dan *pulunase* adalah molekul pati terhidrolisis menjadi lebih pendek dan berantai lurus. Rantai ini berikatan bersama dengan ikatan hidrogen dalam struktur *doublehelix* yang kuat dengan demikian membentuk struktur kristalin baru dan mengurangi sisi pengikatan molekul pati dengan enzim sehingga membuat enzim menjadi sulit untuk mendegradasi pati. Hal ini juga mempengaruhi sifat kristalinitas (mengubah tipe kristalinitas dan derajat kristalinitas), struktur granula, dan sifat termal (meningkatkan suhu transisi fase, dan entalpi kristal terlarut).

Lee dan Hyeon (2016) meningkatkan kandungan RS pada beras dengan juga menggunakan modifikasi enzimatik menggunakan enzim *pulunase* dikombinasi dengan perlakuan fisik metode *autoclaving-cooling* pada beberapa variasi konsentrasi enzim *pulunase*, variasi suhu dan siklus *autoclaving-cooling*. Untuk meningkatkan kandungan SDS yang optimal, kondisi proses yang sesuai adalah pada konsentrasi *pulunase* 498 µL; suhu penyimpanan 47°C dengan jumlah siklus *autoclaving-cooling* (A/C cycle) sebanyak 5 kali. Untuk mendapatkan konsentrasi RS yang optimal dibutuhkan konsentrasi enzim *pulunase* sebanyak 838 µL; suhu penyimpanan 62°C dengan jumlah siklus *autoclaving-cooling* (A/C cycle) sebanyak 3 kali. Kandungan SDS

dan RS yang dihasilkan pada perlakuan tersebut adalah 26,94 persen SDS, dan 30,11 persen RS.

Bedasarkan hasil penelitian Shi dan Qun (2011), Zhou, dkk. (2014), dan Lee dan Hyeon (2016) menunjukkan bahwa perlakuan *dual modification* menggunakan dua jenis enzim menghasilkan RS tertinggi dibandingkan dengan *single modification* menggunakan satu jenis enzim dan *dual modification* kombinasi perlakuan menggunakan enzim dan perlakuan fisik metode *autoclaving cooling* berturut-turut 47,0 persen (Zhou, dkk., 2014); 28,61 persen (Shi dan Qun, 2011), dan 30,11 persen (Lee dan Hyeon, 2016).

3.4. Metode Modifikasi Kimia (dan kombinasinya)

Selain dengan modifikasi enzimatik dan fisik, penyiapan atau peningkatan kandungan RS dapat dilakukan dengan perlakuan kimia seperti dengan metode asetilasi, fosforilasi, oksidasi, dan kombinasinya dengan metode lain. Modifikasi secara kimia menghasilkan RS tipe 4.

Modifikasi metode asetilasi dilakukan oleh Sha, dkk. (2012) pada beras indica menggunakan vinil asetat. Penyiapan beras asetilasi dilakukan dengan mencuci beras dalam larutan natrium karbonat (1:3) selama 12 jam pada suhu 30°C, kemudian beras dibekukan pada suhu -20°C, kemudian dilelehkan pada suhu 90°C, selanjutnya ditambahkan vinil asetat dan dibiarkan bereaksi selama beberapa waktu. Setelah rekasi, pH dibuat menjadi 6–7 dengan 0,5 M HCL. Kemudian beras difiltrasi, dicuci dengan etanol dan air destilasi hingga tidak terdapat residu vinil asetat dan kemudian dikeringkan, diayak hingga ukuran ayakan 100 mesh. Dengan metode ini, kandungan asetil dan RS dipengaruhi oleh perlakuan pembekuan, suhu dan waktu reaksi. Pembekuan mengakibatkan kerusakan struktur kristalin pati dan meningkatkan efisiensi esterifikasi. Kandungan RS tertinggi dihasilkan pada pada waktu pembekuan selama 6 jam, yaitu menghasilkan RS sebesar 69,45 persen. Rasio vinil asetat terhadap beras 2:10 menghasilkan RS tertinggi yaitu 66,35

persen, dan suhu reaksi optimum adalah 30°C menghasilkan RS 66,35 persen. Selama proses asetilasi, gugus asetil akan berikatan pada molekul pati sehingga merusak struktur molekul pati, terutama sisi pengikatan oleh alfa-amilase dan molekul pati sehingga pati tidak dapat dicerna oleh enzim, namun spekulasi ini membutuhkan penelitian lebih lanjut (Sha, dkk., 2012).

Penyiapan RS dengan fosforilasi dilakukan oleh Ashwar, dkk. (2017) pada berbagai varietas pati beras. Proses fosforilasi dilakukan dengan cara: pati beras ditambahkan dalam air yang mengandung STMP (*sodium trimetaphospate*) dan STPP (*sodium tripolyphospate*), sodium sulfat, dan sodium hidroksida hingga pH 11,5. Reaksi dibiarkan terjadi pada suhu 45°C selama 3 jam, setelah reaksi pH diturunkan menjadi 6,5, selanjutnya *slurry* disentrifuse, endapan di cuci hingga 7 kali, dan pati beras selanjutnya dikeringkan dan dihaluskan. Dengan metode fosforilasi ini dihasilkan pati resisten pada kisaran 42,32-47,44 persen. Peningkatan pati resisten ini mencapai 10 kali dibandingkan dengan pati alaminya. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *crosslinking* pati dengan campuran STMP/STPP yang menyebabkan pencegahan enzim amilase masuk kedalam granula pati melalui pori. Conway dan Hood (1976) dalam Ashwar (2017) menyatakan bahwa peningkatan pati resisten dengan fosforilasi disebabkan oleh : penurunan *swelling power* pada pati *crosslinked*, adanya penghalangan pembentukan formasi kompleks pati-amilase akibat hambatan sterik karena adanya gugus fospat pada rantai pati, dan kurangnya fleksibilitas dari pati *crosslinked* yang bertanggung jawab apada peningkatan kandungan pati resisten pati.

Hung, dkk. (2016b) melakukan peningkatan kandungan RS dengan perlakuan asam yang dikombinasikan dengan perlakuan fisik yaitu HMT terhadap pati beras tinggi amilosa, normal amilosa, dan *waxy*. Asam yang digunakan untuk memodifikasi pati beras antara lain asam sitrat, asam laktat, dan asam asetat. Kandungan RS pada pati beras dengan perlakuan asam kombinasi

perlakuan HMT lebih tinggi (30-39 persen) dibandingkan dengan pati beras alami (6,3-10,2 persen) dan pati beras yang hanya dikenai perlakuan HMT (18,5-23,9 persen). Diantara asam organik yang digunakan, asam sitrat adalah asam yang paling berpengaruh pada pembentukan RS, diikuti asam laktat, dan asam asetat. Untuk modifikasi dengan asam dilakukan dengan mendispersikan 100 g pati beras pada larutan asam (0,2 M asam laktat, 0,2 M asam asetat, dan 0,2 M asam sitrat) dengan kadar air 30 persen pada botol tertutup selanjutnya pati beras dalam botol dibiarkan mencapai kesetimbangan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dipanaskan pada suhu 110°C selama 8 jam. Setelah dilakukan proses HMT tersebut, sampel pati dinetralkan dengan 1M sodium hidroksida dan kemudian dicuci dengan air destilasi. Kemudian pati di sentrifugasi pada 10.000 g selama 30 menit dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 24 jam. Pati beras *waxy* alami memiliki kandungan pati resisten 10,2 persen lebih tinggi dibandingkan dengan pati beras tinggi amilosa (6,3 persen) dan normal amilosa (6,5 persen). SDS pati beras tinggi amilosa alami hanya 3,7 persen lebih rendah dibandingkan dengan SDS pati beras normal (14 persen) dan pati beras *waxy* alami (12,9 persen). Zhu, dkk. (2011) melaporkan bahwa SDS pati beras menurun dengan meningkatnya kandungan amilosa. Kandungan RS pati beras *waxy* lebih tinggi dibandingkan dengan RS pada pati beras rendah amilosa. Kombinasi asam dan HMT secara signifikan meningkatkan kandungan pati resisten pada pati beras baik pati beras alami maupun pati beras yang hanya dikenai perlakuan HMT. Kandungan pati resisten pati beras setelah perlakuan dengan asam dan HMT berkisar antara 30,1–39,0 persen lebih tinggi dibandingkan pati beras alami (6,3–10,2 persen) dan juga lebih tinggi dibandingkan pati beras yang hanya dikenai perlakuan HMT (18,5–23,9 persen). Perlakuan dengan asam sitrat menghasilkan jumlah RS tertinggi (35,3–39,0 persen) diikuti dengan perlakuan dengan asam laktat (32,4–35,1 persen) dan dengan asam asetat (30,1–32,5 persen). Hidrolisis pati beras tinggi amilosa dengan perlakuan asam dan HMT

membentuk sejumlah RS yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati beras normal dan *waxy* pada kondisi perlakuan yang sama. Hal ini disebabkan oleh adanya hidrolisat dengan berat molekul yang lebih rendah (baik struktur bercabang maupun struktur linier amilosa dan amilopektin) yang dihasilkan oleh hidrolisis asam. Fraksi pati ini resisten terhadap enzim hidrolisis dikarenakan pembentukan *doublehelix* dan kompartemenisasi amilosa-amilosa, amilopetin-amilopektin dan amilosa-amilopektin selama proses HMT (Chung, dkk., 2009). Selain itu, reaksi esterifikasi antara asam organik dengan pati dapat membentuk struktur cross linking antara rantai pati sehingga menjadi resisten terhadap enzim hidrolisis. Walaupun kandungan RS meningkat, kandungan SDS pada perlakuan asam dan HMT menurun dibandingkan dengan pati yang hanya dikenai HMT saja. Pengurangan SDS dapat disebabkan oleh perubahan struktur fraksi SDS pada perlakuan pati asam sehingga mudah dihidrolisis enzim pencernaan (Shin, dkk., 2007).

Penyiapan pati resisten secara kimiawi secara umum disebabkan oleh adanya pergantian gugus pada molekul pati baik gugus asetil, fosfat, atau gugus lainnya yang mengakibatkan penghalangan pembentukan formasi kompleks pati-amilase sehingga terjadi peningkatan pati resisten karena pati tidak dapat dihidrolisis oleh enzim. Penelitian yang dilakukan oleh Sha, dkk. (2012), Ashwar, dkk. (2017), Hung, dkk. (2016b) menunjukkan peningkatan pati resisten yang berbeda-beda tergantung pada jenis/varietas beras, derajat substitusi gugus, kerusakan struktur granula pati, fleksibilitas, dan formasi kompleks amilosa-amilase. Penyiapan pati resisten dengan asetilasi menghasilkan pati resisten yang lebih tinggi (66,35–69,45 persen) (Sha, dkk., 2012) dibandingkan perlakuan fosforilasi (42,32–47,44 persen) (Ashwar, dkk., 2017), dan perlakuan kombinasi asam dan HMT (35,3–39,0 persen) (Hung, dkk., 2016b).

IV. EFEK FISILOGIS/ KESEHATAN PATI RESISTEN PADA BERAS

4.1. Pengaruh Terhadap Indeks Glikemik (IG)

Salah satu ingredien pangan yang dapat berfungsi sebagai ingredien rendah IG adalah RS (Zhou, dkk., 2014). Hal ini salah satunya dibuktikan oleh Hung, dkk. (2016a), bahwa RS yang dihasilkan dari proses modifikasi fisik HMT dan *annealing* menghasilkan respon glukosa dan Indeks Glikemik (IG) yang lebih rendah dibandingkan dengan pati alaminya. Waktu pencernaan yang lebih lama pada pati beras normal amilosa, rendah amilosa, dan pati beras *waxy* alami dapat disebabkan molekul struktur amilosa dan amilopektin pada pati memiliki derajat kristalinitas, SDS dan RS yang lebih tinggi dibandingkan pada pati beras tinggi dan sedang amilosa. Setelah perlakuan *annealing* pada pati beras tinggi amilosa dan sedang amilosa menunjukkan kandungan gula darah terendah diikuti dengan pati yang dikenai perlakuan HMT, selanjutnya pati alami. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan SDS dan RS pada pati yang dikenai perlakuan *annealing* (10,7–16,5 persen dan 19,5–26 persen) dibandingkan pada pati yang dikenai perlakuan HMT (4,4–25,0 persen dan 18,5–23,9 persen) dan juga pati alami (3,7–12,8 persen dan 6,2–10,2 persen). Pati beras rendah amilosa dan *waxy* yang sudah dikenai perlakuan *annealing* menunjukkan konsentrasi gula darah yang rendah dibandingkan dengan pati yang dikenai perlakuan HMT dan pati alami. IG dari pati beras alami berkisar antara 93,2–100 persen tetapi pada pati beras *waxy* memiliki IG yang lebih rendah yaitu 68,9 persen. Nilai IG yang rendah pada pati alami *waxy* dibandingkan dengan pati beras lainnya disebabkan oleh struktur kristalin pada pati beras *waxy* yang tergelatinisasi menyebabkannya resisten terhadap hidrolisis enzim. Struktur pati yang rusak pada pati normal dan tinggi amilosa meningkatkan kemampuan degradasi enzimatik. Baik perlakuan HMT dan *annealing* menurunkan IG pati beras, dimana pada perlakuan *annealing* menghasilkan nilai IG yang terendah (21,2–58,0 persen) diikuti dengan HMT (61,2–88,9 persen), dan pati alami (68,9–100 persen). Hal ini disebabkan

oleh kompartementalisasi kandungan amilosa-amilosa, amilopektin-amilopektin dan amilosa-amilopektin pada berbagai beras yang dimodifikasi dengan *annealing* dan HMT berbeda-beda dan bertanggung jawab pada akses rantai pati untuk dihidrolisis oleh enzim, sehingga menurunkan IG. Penyusunan pati setelah perlakuan HMT dan *annealing* berhubungan dengan nilai IG yang tidak dipengaruhi oleh kandungan amilosa pada pati.

4.2. Pengaruh terhadap Kadar Gula Darah, Indeks Organ Kadar Serum Lipid Darah, dan Obesitas

Pada beras setelah modifikasi dengan enzim yang dilakukan oleh Zhou, dkk. (2014), setelah dilakukan uji *in vivo* diketahui bahwa pati beras setelah perlakuan modifikasi dua jenis enzim dengan konsentrasi pemberian RS terbaik 8 g/kg (berat badan) bb mencit percobaan memiliki kemampuan dalam menaikkan berat badan mencit, menurunkan kandungan gula darah mencit yang mengalami diabetes. Pati resisten dapat menurunkan kandungan gula darah karena (i) memiliki availabilitas glukosa yang rendah akibat RS tidak tercerna; (ii) RS bersifat viscous sehingga menghambat absorpsi glukosa; dan (iii) fermentasi RS menghasilkan SCFA yang dapat meningkatkan sensitivitas insulin, diantaranya menghasilkan asam lemak asetat dan butirir yang dapat meningkatkan fungsi *Adenosin Mono Phosphate Kinase* (AMPK) yang dapat menghambat glukoneogenesis dan menurunkan produksi glukosa dihati sehingga kadar gula puasa menurun dan uptake glukosa ke otot meningkat. Selain itu, AMPK juga mengkativasi GLU 4 sebagai transporter glukosa.

RS juga memiliki potensi menurunkan indeks organ limpa 39,3 persen, indeks organ ginjal 33,3 persen, dan indeks organ hati 15,27 persen (terhadap mencit percobaan yang menderita diabetes /model control). Hal ini dapat disebabkan karena pati resisten dapat menurunkan kadar gula darah pada penderita diabetes sehingga kerja organ ginjal dan limpa untuk menyaring darah lebih

ringan dan mengurangi resiko pembengkakan organ. Hati sebagai organ tempat bertemunya metabolisme karbohidrat, lemak dan protein dapat bekerja lebih berat ketika kadar gula darah meningkat yang mengakibatkan penyimpangan metabolisme lemak dan protein, sehingga pada penderita diabetes dapat menyebabkan peningkatan volume hati. Konsumsi RS dapat mengontrol metabolisme gula darah sehingga metabolisme dalam hati baik metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak dapat terkontrol dan peningkatan indeks organ hati dapat dihambat.

Pada profil kandungan serum lipid darah, pemberian pati resisten dapat meningkatkan HDL-kolesterol 28,57 persen, menurunkan triasilgliserol 31,88 persen dan menurunkan total kolesterol 50,53 persen (terhadap mencit percobaan yang menderita diabetes/model kontrol). Hal ini satunya dapat disebabkan oleh fermentasi pati resisten menghasilkan asam propionat yang dapat menghambat HMG-CoA reduktase yaitu enzim untuk sintesis kolesterol sehingga sintesis kolesterol dalam darah dapat dihambat.

Lee dan Hyeon (2016) mengujikan SDS dan RS pada mencit yang diberi pakan tinggi lemak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah 6 minggu pemberian pakan, pemberian SDS dan RS menurunkan persentase kenaikan berat badan pada mencit yang diberi pakan tinggi lemak 20,33 dan 30,17 persen. Hal ini disebabkan oleh RS menurunkan penyerapan energi, sehingga menurunkan tumpukan lemak epididimis (de Deckere, dkk., 1995). Suplementasi SDS pada pakan tinggi lemak secara signifikan menurunkan kenaikan berat badan dikarenakan sejumlah fraksi yang lambat dicerna. SDS secara kontinu menyuplai gula darah selama proses pencernaan dengan laju yang lambat, sehingga mempengaruhi kehilangan berat badan (Lee, dkk., 2011). *Food efficiency* (perbandingan antara rata-rata kenaikan berat badan dengan rata-rata *food intake*) lebih tinggi pada mencit yang diberi pakan tinggi lemak (0,094g/g) dibandingkan dengan mencit yang diberi perlakuan pakan SDS (0,076g/g) dan RS (0,062 g/g).

Pemberian pakan SDS dan RS menurunkan *food efficiency* karena memberikan kenaikan berat badan yang lebih sedikit dibandingkan dengan pakan yang tidak diberi SDS dan RS.

Pemberian pakan SDS dan RS pada mencit obesitas memiliki kandungan total lipid yang lebih rendah (317,13 dan 269,39 mg/dL) dibandingkan pada mencit tanpa pemberian SDS dan RS (337,81 mg/dL). Pemberian pakan SDS dan RS juga memberikan kandungan trigliserida (78,99 dan 68,79 mg/L), total kolesterol (155,38 dan 136,27 mg/L), dan LDL-kolesterol (58,18 dan 49,87 mg/L) yang lebih rendah dibandingkan kandungan trigliserida (98,89 mg/L), total kolesterol (102,00 mg/L) dan LDL-kolesterol (63,74 mg/L) pada mencit yang diberi pakan tinggi lemak. Hal ini menunjukkan bahwa RS memiliki mekanisme hipoglikemik dan hipolipidemik. Choi, dkk. (2013) menyatakan bahwa pengaruh hipokolesterolemik RS dihasilkan dari peningkatan ekresi asam empedu feses dan sterol atau sintesis produk fermentasi yang dikaitkan dengan penghambatan sintesis kolesterol dalam hati.

V. APLIKASI RS PADA PRODUK PANGAN

Aplikasi produk pangan berbahan baku pati beras tinggi pati resisten dari hasil modifikasi pati belum banyak dilakukan. Namun berbagai penelitian telah mencoba mengaplikasikan tepung ataupun pati beras tinggi RS baik RS yang berasal dari tanaman padi itu sendiri (pengaruh varietas) ataupun dengan menambahkan RS komersial.

Ferng, dkk. (2016) mengaplikasikan tepung beras yang berasal dari tiga varietas beras yang berbeda dari Taiwan pada pembuatan *ciffon cake* untuk meningkatkan konsumsi beras dan melihat pengaruh kandungan RS yang terkandung pada tepung beras terhadap IG, dan tekstur *cake* yang dihasilkan. Pada penelitian Ferng, dkk. (2016) dihasilkan *ciffon cake* yang mengandung RDS 38–45 persen dengan kandungan RS yang cukup tinggi sebesar 55–62 persen, namun memiliki SDS yang sangat terbatas. Tingginya kandungan RS dipengaruhi oleh rasio amilopektin dan amilosa. Hal ini

dikarenakan selama proses gelatinisasi molekul amilosa dan amilopektin berinteraksi dengan protein ataupun lipid dan berretrogradasi sehingga membentuk RS. Tingginya RS pada *ciffon cake* berbasis tepung beras ini menunjukkan bahwa *cake* memiliki kemampuan menstabilkan kandungan gula darah postprandial untuk mempertahankan respon glikemik rendah. Berdasarkan pengujian secara *in vivo ciffon cake* berbasis tepung beras ini memiliki IG rendah yaitu 52,10–54,85 tetapi masih lebih tinggi dibandingkan dengan IG *cake* berbahan baku terigu (47,46). Sifat fisik *ciffon cake* yang dihasilkan juga mendekati bahkan lebih baik dibandingkan dengan *ciffon cake* yang terbuat dari tepung terigu yaitu dengan spesifik volume lebih tinggi (4,09 cm³/g) dibandingkan dengan pada tepung terigu (3,83 cm³/g) dan pada *cake* segar memiliki kekerasan dan *chewiness* lebih rendah (154–204,99 g) dibandingkan dengan *cake* dari terigu rendah gluten (243,8 g). *Ciffon cake* tepung beras juga memiliki *resilience* dan *springness* (0,42–0,56 dan 0,95–0,98) yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan *resilience* dan *springness ciffon cake* berbahan baku tepung terigu rendah gluten, yakni 0,47 dan 0,97.

Srikaeo dan Pablo. (2015) melakukan formulasi tepung beras rendah IG untuk dapat digunakan sebagai ingredien pangan fungsional untuk kemudian diaplikasikan pada pembuatan mie tepung beras. Tepung beras dimanipulasi kandungan amilosa dan kandungan pati resistennya dengan menambahkan amilosa murni dari kentang dan pati resisten komersial ActiStarR yang memiliki kandungan pati resisten 52,9 persen sampel kering. Sebelum dilakukan penambahan amilosa dan pati resisten tepung beras memiliki kandungan amilosa sebesar 20 persen dengan kandungan pati resisten yang rendah yaitu 0,5 persen. Kemudian dilakukan penambahan amilosa 30–50 persen dan pati resisten 2–6 persen. Hal ini mengakibatkan penurunan kecepatan pencernaan pati dimana semakin tinggi amilosa dan tinggi pati resisten pencernaan semakin lambat mencapai $3,01 \times 10^{-3}$ /menit

dengan IG sebesar 61. Penambahan amilosa dan pati resisten berkontribusi pada pencernaan pati yang diinginkan tetapi juga mempengaruhi tekstur gel tepung beras, dimana kekerasan gel tepung beras meningkat hingga 710 g dengan menurunnya sifat *adhesive* hingga 359 g sec. Untuk pembuatan mie beras rendah IG digunakan tepung beras yang ditambahkan 74 persen amilosa dan 9 persen pati resisten komersial yang menghasilkan mie beras rendah IG yaitu 54,35 lebih rendah dibandingkan dengan IG mie beras tanpa penambahan amilosa dan pati resisten yaitu 99,03. Mie yang dihasilkan dari penggunaan tepung beras tinggi amilosa memiliki kekerasan yang tinggi dan permukaan yang halus, sehingga memiliki *tensile strength* dan *break distance* yang lebih rendah. Secara umum konsumen lebih menyukai mie dengan *tensile strength* dan *ekstensibilitas* mie yang tinggi. Oleh karena itu pada pembuatan mie beras tinggi amilosa dan pati resisten ini masih perlu dioptimasi agar mendapatkan kualitas fisik mie yang disukai dan tetap memiliki kandungan pati resisten yang tinggi sehingga memberi dampak positif pada kesehatan.

V. KESIMPULAN

Pati resisten pada beras dapat disiapkan atau ditingkatkan kandungannya dengan modifikasi pati secara fisik, kimia dan enzimatis. Modifikasi pati akan mengakibatkan perubahan pada kandungan pati berdasarkan tingkat kecernaannya yaitu pati cepat cerna (RDS), pati lambat cerna (SDS) dan pati resisten (RS). Pati hasil modifikasi dapat tergolong dalam pati resisten tipe 3, 4, dan 5. Proses modifikasi pati dapat meningkatkan kandungan pati resisten dan menurunkan IG pati beras. Kandungan pati resisten pada beras diketahui dapat menurunkan kandungan gula darah, meningkatkan berat badan pada mencit diabetes, menurunkan indeks organ, total kolesterol, dan total triasilgliserol serta dapat meningkatkan kadar HDL-kolesterol. Pada mencit obesitas, pati resisten efektif menurunkan kenaikan berat badan dan memiliki pengaruh hipokolesterolemik. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi pati resisten

beras memberikan efek positif bagi kesehatan. Aplikasi menggunakan tepung beras tinggi pati resisten dan rendah IG menjadi cake dan mie merupakan salah satu langkah untuk meningkatkan keanekaragaman produk olahan pati/tepung beras rendah IG.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarinanti, M. 2007. *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi dan Ekspor Beras Indonesia* [Skripsi]. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Ashwar B.A, Gani A, Shah A, Wani IA, Masoodi, FA. 2015. Preparation, Health Benefits and Applications of Resistant Starch-a Review. *Starch/ Stärke*, 67:1–15.
- Ashwar BA, Adil G, Idrees AW, Asima S, Farooq AM, Dharmesh CS. 2016. Production Of Resistant Starch from Rice by Dual Autoclavingretrogradation Treatment: Invitro Digestibility, Thermal and Structural Characterization. *Journal of Food Hydrocolloids* 56:108–117.
- Ashwar BA, Adil G, Asima S, Farooq AM. 2017. Physicochemical Properties, In-Vitro Digestibility and Structural Elucidation of RS4 from Rice Starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 105: 471–477.
- Conway RL dan Hood LF. 1976. Starch/Starke. Di Dalam Ashwar BA, Adil G, Asima S, Farooq AM. 2017. Physicochemical Properties, In-Vitro Digestibility and Structural Elucidation Of RS4 From Rice Starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105: 471–477.
- Choi WH, Gwon SY, Ahn J, Jung CH, Ha TY. 2013. Cooked rice prevents hyperlipidemia I Hamsters Fed a High-fat/Cholesterol Diet by the Regulation of the Expression of Hepatic Genes Involved in Lipid Metabolism. *Journal of Nutrition Research* 33: 572–579.
- Collado LS, Mabesa LB, Oates CG. and Corke H. 2001. Bihon-Type Noodles from Heat-Moisture Treated Sweet Potato Starch. *Journal of Food Science*, 66 (4): 604–609.
- 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. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 75: 436–447
- de Deckere EAM, Kloots WJ, van Amelsvroot JM. 1995. Both Raw and Retrograded Starch Decrease Serum Triglycerol Concentration and Fat Accretion in the Rat. *British Journal of Nutrition* 73: 287–298
- Devries JW. 2004. Dietary fiber: The Influence of Definition on Analysis and Regulation. *Journal of AOAC International*, 87:682–706.
- Dupuis JH, Qiang L and Rickey YY. 2014. Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13: 1219–1234.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. 1992. Classification and Measurement of Nutritionally Important Starch Fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46: S33–S50.
- Ferng LH, Chiung ML, Reming Y, Shih HC. 2016. Physicochemical Property and Glycemic Response of Chiffon Cakes with Different Rice Flours. *Journal of Food Hydrocolloids* 53: 172–179.
- FAO Report. 2004. *Rice in Human Nutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2015. *Rice Market Monitor*. Food and Agriculture Organization of the United Nation 18 (1): 1–42.
- Franco CML, Ciacco CF, Tavares DQ. 1995. Effect of the Heat-Moisture Treatment on the Enzymatic Susceptibility of Corn Starch Granules. *Starch/Stärke*, 47(6): 223–228.
- Gunaratne, A dan Hoover, R. 2002. Effect of Heat-Moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(4): 425–437.
- Haralampu SG. 2000. Resistant starch – A review of the Physical Properties and Biological Impact of RS3. *Carbohydrate Polymers Journal*, 41: 285–292.
- Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D, 2004. Starch Digestibility and the Estimated Glycemic Score of Different Types of Rice Differing in Amylose Contents. *Journal of Cereal Science*, 40:231–237.
- Huang THW, Peng G, Kota BP, Li GQ, Yamahara J, Roufogalis, BD. 2005. Anti-diabetic Action of Punica Granatum Flower Extract: Activation of PPAR-c and identification *Toxicology and Applied Pharmacology Journal*, 207: 160–169.
- Hung PV, Huynh TC, dan Ngunyen TLP. 2016a. In Vitro Digestibility and in Vivo Glucose Response of Native and Physically Modified Rice Starches varying Amylose Contents. *Journal of Food Chemistry* 191: 74–80.
- Hung PV, Ngo LV, dan Nguyen TLP. 2016b. Resistant Starch Improvement of Rice Starches under a Combination of Acid and Heat-moisture Treatments. *Journal of Food Chemistry*, 191: 67–73
- Hoover R dan Vasanthan T. 1994a. Effect of heat-Moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Cereal, Legume, and Tuber Starches. *Carbohydrate Research*, 252(15): 33–53.
- Hoover R dan Vasanthan T. 1994b. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. *Journal of Food Biochemistry*, 17: 303–325.
- IRRI. 2013. World Rice Statistics 2013. Los Banos, the Philippines: IRRI. June 29, 2013. http://irri.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=9081&Itemid=100481&lang=en.
- Itoh Y, Naoko C, Misato A, Yuko H, Naoko F. 2017. Characterization of the Endosperm Starch and the Pleiotropic Effects of Biosynthetic Enzymes on Their Properties in Novel Mutant Rice Lines with High Resistant Starch and Amylose Content. *Plant Science*, 258: 52–60.
- Jacobs H, Eerlingen RC, Rouseu N, Colonna P, Delcour JA. 1998. Acid Hydrolysis of Native and Annealed Wheat, Potato and Pea Starches—DSC Melting Features and Chain Length Distributions of Lintnerised Starches. *Carbohydrate Research*, 308: 359–371.
- Jiang H, Lio J, Blanco M, Campbell M, Jane JL. 2010 Resistant Starch Formation in high-Mylose Maize Starch during Kernel Development. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 58: 8043–804.

- Lee CJ, Shin SI, Kim Y, Choi HJ, Moon TH. 2011. Structural Characteristics and Glucose Response in Mice of Potato Starch Modified by Hydrothermal Treatments. *Carbohydrate Polymer Journal*, 83: 1879–1886.
- Lee KY dan Hyeon GL. 2016. Comparative Effects of Slowly Digestible and Resistant Starch from Rice in High-fat diet-induced Obese Mice. *Food Science and Biotechnology*, 25(5): 1443–1448.
- Liu HX, Wuxia L, Xiaofang W, Manman LV, Qiang P, Min W. 2015. Changes In Physicochemical Properties And In Vitro Digestibility Of Common Buckwheat Starch By Heat-Moisture Treatment And Annealing. *Carbohydrate Polymers Journal*, 13: 237–244.
- Liu F, Romanova N, Lee EA, Ahmed R, Evans M, Gilbert EP, Morell MK, Emes MJ, Tetlow IJ. 2012. Glucan Affinity of Starch Synthase Iia Determines Binding of Starch Synthase I and Starch-Branching Enzyme Iib to Starch Granules. *Biochemistry Journal*. 448: 373–387.
- Losel D dan Claus R. 2005. Dose-dependent Effects of Resistant Potato Starch in the Diet on Intestinal Skatole Formation and Adipose Tissue Accumulation in the pig. *Journal of Veterinary Medicine, A: Physiology, Pathology, Clinical Medicine*, 52: 209–212.
- Miller BJC, Foster PK, Colagiuri S, Leeds A. 1998. The GI factor—The Glucose Revolution. Holder Headline Australia Pty Ltd.
- Miller BJC., Stockmann K, Atkinson F, Petocz P, Denyer G, 2009. Glycemic Index, Postprandial Glycemia, and the Shape of the Curve in Healthy Subjects: Analysis of a Database of More than 1000 Foods. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 89: 97–105.
- Mohan V, Radhika G, Sathya RM, Tamil SR, Ganesan A, Sudha V. 2009. Dietary Carbohydrates, Glycemic Load, Food Groups and Newly Detected Type 2 Diabetes among Urban Asian Indian population in Chennai, India (Chennai Urban Rural Epidemiology study 59). *British Journal of Nutrition* 102:1498–1506.
- Morell MK, Kosar-Hashemi B, Cmiel M, Samuel MS, Chandler P, Rahman S, Buleon A, Batey IL, Li Z. 2003. Barley sex6 Mutants Lack Starch Synthase Iia Activity and Contain a Starch with Novel Properties, *Plant Journal*, 34: 173–185.
- O'Brien S, dan Wang Y. 2008. Susceptibility of Annealed Starches to Hydrolysis by α -Amylase and Glucoamylase. *Carbohydrate Polymers*, 72(4): 597–607.
- Sha XS, Zhang JX, Li B, Li J, Zhou B, Yan JJ, Song RK. 2012. Preparation and physical Characteristics of Resistant Starch (type 4) in Acetylated Indica Rice. *Journal of Food Chemistry*, 134:149–154.
- Sharma B, Balomajumder C, Roy P. 2008. Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Flavonoid Rich Extract from Eugenia Jambolana Seeds on Streptozotocin Induced Diabetic Rats. *Food and Chemical Toxicology Journal*, 46: 2376–2383.
- Shaw JE, Sicree R.A, Zimmet PZ. 2010. Global Estimates of the Prevalence of Diabetes for 2010 and 2030. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 87: 4–14.
- Shin SI, Lee CJ, Kim DI, Lee HA, Cheong JJ, Chung, K M. 2007. Formation, Characterization, and Glucose Response in Mice to Rice Starch withlow Digestibility Produced by Citric Acid Treatment. *Journal of Cereal Science*, 45;24–33.
- Shi M dan Qun-yu G. 2011. Physicochemical Properties, Structure and in Vitro Digestion of Resistant Starch from Waxy Rice Starch. *Carbohydrate Polymers*, 84: 1151–1157.
- Shobana S, Kokila A, Lakshmi Priya N, Subhashini A, Ramya BM, Mohan V, Mareshi NG, Anjana RM, Henry CJ, dan Suha V. 2012. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(2): 178–183.
- Simsek S dan EI SN. 2012. Production of resistant Starch from Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) Corm and Determination of its Effects on Health by in vitro Methods. *Carbohydrate Polymers*, 90: 1204–1209.
- Soriguer F, Colomo N, Olveira G, García FE, Esteva I, Ruiz de AMS, Morcillo S, Porrás N, Valdes S, Rojo MG, 2013. White Rice Consumption and Risk of type 2 diabetes. *Clinical Nutrition Journal*. 32: 481–484.
- Srikaeo K dan Pablo AM. 2015. Formulating low Glycaemic Index Rice Flour to be Used as a

-
- Functional Ingredient. *Journal of Cereal Science*, 61: 33–40.
- Syamsir E, Purwiyatno H, Dedi F, Nuri A, dan Feri K. 2012. Pengaruh Proses Heat Moisture Treatment (HMT) terhadap Karakteristik Fisikokimia Pati. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 13 (1) : 100–106.
- USDA. 2016. Crop Production 2015 Summary. United States Department of Agriculture.
- Weickert MO dan Mohlig M. 2005. Impact of cereal Fibre on Glucose-Regulating Factors. *Diabetologia*, 48: 2343–2353.
- Yamamori M, Fujita S, Hayakawa K, Matsuki J, Yasui T. 2000. Genetic Elimination of a Starch Granule Protein SGP-1, of Wheat Generates an Altered Starch with Apparent High Amylose, *Theor. Appl. Genet*, 101; 21–29.
- Zaragoza EF, Riquelme MJN, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. 2010. Resistant Starch as Functional Ingredient: A review. *Food Research International*, 43 : 931–942.
- Zavareze ER dan Dias ARG. 2011. Impact of Heat-Moisture Treatment and Annealing in Starches: A review. *Carbohydrate Polymers Journal*, 83 : 317–328.
- Zavareze E da R, Shanise LMEH, Diego Diego G. de los S, Elizabete H, Juliane MP, dan Alvaro R. 2012. Resistant Starch and Thermal, Morphological and Textural Properties of Heat-Moisture Treated Rice Starches with High-Medium and Low-Amylose Content. *Starch/ Stärke Journal*, 64: 45–54.
- Zeng F, Fei M, Fansheng K, Qunyu G, Shujuan Y. 2015. Physicochemical Properties and Digestibility of Hydrothermally Treated Waxy Rice Starch. *Food Chemistry Journal*, 172: 92–98.
- Zhu L, Gu M, Meng X, Cheung SCK, Yu H, Huang J, Sun Y, Shi Y, Liu. 2012. High-amylose rice Improves Indices of Animal Health in Normal and Diabetic Rats. *Plant Biotechnology Journal*, 10: 353–362.
- Zhu LJ, Liu QQ, Wilson JD, Gu MH, Shi YC. 2011. Digestibility and Physicochemical Properties of Rice (*Oryza sativa* L.) Flours and Tarches Differing in Amylose Content. *Carbohydrate Polymers Journal*, 86 (4) : 1751–1759.
- Zhou Y, Shaohua M, Deyi C, Xiping Z, Huaibo Y. 2014. Structure Characterization and Hypoglycemic Effects of Dual Modified Resistant Starch from Indica Rice Starch. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 103: 81–86.

BIODATA PENULIS :

Riyanti Ekafitri dilahirkan di Yogyakarta, 25 April 1988. Menyelesaikan pendidikan S1 di Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor tahun 2009, dan saat ini sedang menempuh pendidikan S2 di Sekolah Pasca Sarjana Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada.