



Peningkatan Pati Resisten dan Karakteristik Tepung Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.) Pratanak Metode Kombinasi Pengukusan, Oven Microwave, Autoclav dan Pendinginan

Waluyo^{1,2}, Yudi Pranoto², Sardjono², Yustinus Marsono²

¹ Jurusan Gizi, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Indonesia, Jl. Tata Bumi No. 3, Banyuraden, Gamping, Sleman, 55293 Yogyakarta, Indonesia, Email: waluyogizijogja@ugm.ac.id

² Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur 55281 Yogyakarta, Indonesia

Kata kunci:	ABSTRAK
Kombinasi pemanasan-pendinginan	<p>Latar belakang: Kacang merah (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) berpotensi sebagai sumber pati resisten (RS), tetapi aplikasinya terbatas karena memerlukan persiapan pengolahan yang lama. Salah satu solusinya adalah dengan mengolah menjadi produk setengah jadi berupa tepung siap pakai. Tujuan: Mengetahui pengaruh pratanak metode kombinasi pemanasan-pendinginan terhadap peningkatan RS dan karakteristik tepung kacang merah. Metode: Kacang merah direndam dalam air 5 jam, lalu dilakukan pratanak dengan tiga metode kombinasi pemanasan-pendinginan, yaitu: pengukusan-pendinginan 3 siklus (SSS), pengukusan-pendinginan, oven microwave-pendinginan, autoclaving-pendinginan (SMA) dan pengukusan-pendinginan, autoklaving-pendinginan, oven microwave-pendinginan (SAM). Hasil: Metode SMA secara signifikan menghasilkan tepung kacang merah kadar RS tertinggi (12,08%), meningkatkan kapasitas penahanan air (WHC) sebesar 0,4 g/g dan kapasitas pembengkakan (SP) 0,32 g/g, menurunkan kapasitas penahanan minyak (OHC) 0,06 g/g dan tingkat kelarutan 10,49%, serta menurunkan viskositas. Ketiga metode merubah struktur mikroskopik dengan pola kristalinitas yang tetap yaitu granula pati tipe C. Kesimpulan: Metoda SMA menghasilkan kadar RS tertinggi dengan beberapa perubahan karakteristik tepung kacang merah yang menyertainya.</p>
Pati resisten	
Pregelatinisasi	
Pratanak	
Tepung kacang merah	
Pengukusan	
Key word:	ABSTRACT
Heating-cooling method	<p>Background: Red bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) has a potential as a source of resistant starch (RS), but its application is limited because it requires a long processing preparation. One solution is to process it into semi-finished products in the form of ready-to-use flour. Objective: To determine the effect of pregelatinization with the combination of heating-cooling method on the increase of RS and characteristics of red bean flour. Methods: Red beans soaked in water for 5 hours, the pregelatinization was executed with three combination of heating-cooling methods, namely: 3-cycle steaming-cooling (SSS), steaming-cooling, microwave oven-cooling, autoclaving-cooling (SMA) and steaming-cooling, autoclaving-cooling, microwave oven-cooling (SAM). Results: The SMA method significantly produced the highest RS content of red bean flour (12.08%), increased water holding capacity (WHC) by 0.4 g / g and swelling capacity (SP) 0.32 g / g, decreased holding capacity. oil (OHC) 0.06 g / g and a solubility level of 10.49%, and reduce viscosity. The three methods changed the microscopic structure with a fixed crystallinity pattern, namely type C starch granules. Conclusion: The SMA method produced the highest RS content with several changes in the characteristics of red bean flour.</p>
Microwave oven	
Pregelatinization	
Resistant starch	
Red bean flour	
Steaming	

This is an open access article under the CC-BY-SA license



1. Pendahuluan

Pola hidup kurang gerak (*sedentary lifestyle*) dan pola konsumsi pangan tinggi kolesterol rendah serat, merupakan gaya hidup masyarakat kekinian yang memicu masalah kelainan profil lipid darah (dislipidemia). Peningkatan kolesterol total, LDL dan trigliserida serta penurunan kolesterol HDL dalam plasma darah merupakan tanda-tanda dislipidemia.[1] Dislipidemia perlu penanganan dan pengobatan serius karena merupakan faktor risiko utama penyakit jantung koroner.[2] Penyakit ini telah menjadi penyebab utama kematian secara global dalam 15 tahun terakhir.[3] Upaya pengobatan dislipidemia dengan mengandalkan obat hipolipidemik seperti statin tidak bisa dilepaskan dari berbagai efek samping yang tidak diinginkan. Upaya lain yang lebih bersifat ramah lingkungan dalam mengatasi kondisi dislipidemia adalah konsumsi makanan yang cukup mengandung komponen bioaktif seperti serat pangan (DF) dan atau RS.[4][5] Pemanfaatan DF dan RS dalam memperbaiki kondisi dislipidemia sangat dianjurkan karena mudah didapat dan aman tanpa efek samping.

Hampir semua bahan makanan nabati (sayuran, buah-buahan, sereal dan kacang-kacangan) mengandung DF dan RS. Salah satu bahan pangan yang berpotensi sebagai sumber RS adalah kacang merah.[6] RS adalah bagian dari pati yang tidak dapat dicerna oleh enzim dalam usus halus manusia yang sehat tetapi dapat difermentasi oleh mikroflora usus untuk menghasilkan asam lemak rantai pendek yang bermanfaat untuk kesehatan.[7] Terdapat 5 kelompok RS, salah satunya adalah RS3, yaitu RS yang dihasilkan dari poses retrogradasi pati yang melibatkan proses gelatinisasi diikuti dengan proses pendinginan.[8]

Berbagai sifat fungsional RS telah dilaporkan untuk penurunan indeks glikemik, kontrol diabetes dan untuk mengurangi risiko penyakit kardiovaskular. [6][9][10][11] RS juga dapat berperan dalam penurunan kanker kolon karena fermentasi RS oleh mikroflora dalam usus besar potensial menghasilkan asam butirat yang dapat menurunkan ammonia dan fenol.[12] [13]

Kacang merah termasuk jenis kacang-kacangan yang kaya akan pati, yang potensial dikembangkan sebagai pangan sumber RS dengan cara pengolahan pratanak. Kandungan RS berhubungan erat dengan sifat-sifat fungsionalnya seperti WHC, OHC dan SP yang pada gilirannya mempengaruhi sifat dari efek hiperkolesterol tepung kacang merah. Pemanfaatan kacang merah sebagai sumber RS masih menghadapi berbagai kendala dalam aplikasinya, yaitu diperlukan waktu yang lama untuk penyiapan, salah satu solusinya adalah dengan mengolah menjadi bahan setengah jadi berupa tepung pratanak. Proses pratanak dilakukan dengan pemanasan yang diikuti dengan pendinginan. Proses ini memiliki kelebihan dapat meningkatkan pati teretrogradasi sehingga menghasilkan tepung tinggi RS. Dalam praktek proses ini dilakukan dengan cara autoclaving-cooling secara berulang.[14] Jumlah siklus *autoclaving-cooling* akan berpengaruh pada kadar RS yang dihasilkan. Dunder dan Gocmen melaporkan bahwa pati jagung yang mengalami *autoclaving-cooling* 3 siklus memiliki RS yang paling optimal, fenomena serupa juga dilaporkan oleh Faridah *et al.* pada penelitian pati garut.[15][16] Selain pengukusan model tradisional dan autoklav (pengukusan bertekanan) terdapat pengukusan menggunakan gelombang mikro, yaitu penggunaan oven microwave.

Zhang *et al.* melaporkan tepung pati canna dikukus dengan oven microwave 1000 W selama 30 menit meningkatkan RS menjadi 2 kali dari tepung pati canna asli.[17] Penanakan nasi dengan microwave yang dilanjutkan dengan pendinginan dapat meningkatkan RS dari 0,6% menjadi 2% setelah penanakan dan meningkat lagi menjadi 3,8% setelah pendinginan selama 24 jam.[18] Selama ini belum pernah ada penelitian yang mengkombinasikan metode gabungan pengukusan tradisional, oven microwave dan autoclaving dan pendinginan.

Beberapa penelitian dalam upaya optimalisasi pemanfaatan kacang merah telah dilakukan, antara lain, peningkatan RS dengan metode autoclaving, identifikasi sifat kimia dan fungsional RS dengan metode kombinasi pemanasan dan ensimatik serta karakterisasi tepung kacang merah autoclaving-cooling.[19][20][21] Mayoritas penelitian sereal, umbi-umbian dan kacang-kacangan sampai saat ini adalah pada sistem berbasis pati termasuk penelitian pada kacang merah.[22]

Pilihan metode pratanak kombinasi pemanasan-pendinginan, dengan pengukusan tradisional, pengukusan oven microwave dan pengukusan menggunakan autoklav serta pendinginan pada suhu 4°C, diharapkan dapat menghasilkan tepung kacang merah tinggi RS. Metode pemanasan-pendinginan ini telah mendapatkan penerimaan yang lebih luas karena tidak menghasilkan produk samping, misalnya residu kimia yang digunakan.[23]

Hingga saat ini masih sedikit penelitian yang melaporkan perubahan sifat fisikokimia seperti serat pangan, RS dan sifat fungsional seperti WHC, OHC, SC tepung kacang merah. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh pratanak metode kombinasi pemanasan-pendinginan terhadap peningkatan RS, sifat fisikokimia dan sifat fungsional tepung kacang merah.

2. Metode

2.1. Desain penelitian

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan kelompok kontrol (*completely randomized with a control group design*).

2.2. Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Proses serta Laboratorium Pangan dan Gizi Fakultas Teknologi Pertanian UGM.

2.3. Bahan dan alat penelitian

Kacang merah diperoleh dari pasar tradisional di Magelang, Jawa Tengah, Indonesia. *Alpha-amylase* (Termamyl 120 L, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), pepsin (Merck, Darmstadt, Germany) dan pancreatin (laboratorium BDH, Poole, Inggris) untuk analisis serat pangan dan bahan kimia lainnya dengan kulaitas proanalitis. Beberapa peralatan utama yang digunakan: *scanning Electron Microscopy* (SU 1510, Hitachi, Jepang), Rapid Visco Analyzer RVA-4, Newport Scientific, Australia yang disertai dengan program peranti lunak ThermoLine Windows 3.

2.4. Tahapan penelitian

Pengolahan tepung kacang merah pratanak: Tepung kacang merah pratanak dipersiapkan lebih dahulu dengan merendam kacang merah dalam air dengan perbandingan 1:3 selama 5 jam. Setelah ditiriskan 30 menit, kacang merah dilakukan tiga kombinasi perlakuan, yaitu:

- (i) pengukusan-pendinginan 3 kali siklus (SSS),
- (ii) pengukusan-pendinginan, mikrowave-pendinginan, autoclaving-pendinginan (SMA) dan
- (iii) pengukusan-pendinginan, autoklaving-pendinginan, microwave-pendinginan (SAM).

Pengukusan dilakukan dalam panci pengukus selama 30 menit mendidih. Pemanasan dalam oven microwave daya 900 W, panjang gelombang 2450 Hz, selama 4 menit. Pemanasan dalam autoklav suhu 121°C dengan tekanan 15 Atm dalam waktu 145 detik.[19] Pendinginan dalam lemari penyimpanan suhu 4°C selama 24 jam.

Kemudian kacang merah dikeringkan dalam pengering kabinet pada suhu 55°C selama 12 jam, kacang merah kering digiling dan disaring melewati ayakan 80 mesh. Tepung kacang merah

alami (NKB) diperoleh dengan mengeringkan kacang merah dalam pengering kabinet pada suhu 55°C selama 12 jam. Hasil akhir adalah tepung NKB, SSS, SMA dan SAM dikemas dalam kantong plastik kedap udara, disimpan pada suhu 4°C sebelum digunakan.

Penentuan komposisi kimia: Sampel tepung kacang merah dianalisis rangkap tiga menurut prosedur AOAC, meliputi kadar air (termogravimetri), protein kasar (mikro-Kjeldahl), lemak kasar (ekstraksi Soxhlet) dan abu (metode pengabuan kering).[24] Karbohidrat total dihitung berdasarkan perbedaan persentase.

Pengukuran RS: RS diukur menggunakan metode Goni et al.[25] Sampel 100 mg tepung kacang merah ditempatkan dalam tabung centrifuge dan kemudian, ditambahkan 10 mL buffer KCl-HCl pH 1,5, diikuti oleh 200 µL larutan pepsin (500 mg pepsin / 5 mL buffer KCl-HCl) dan divortex. Kemudian, wadah dimasukkan ke dalam waterbath 40° C selama 60 menit dengan pengocokan konstan. Selanjutnya, wadah didinginkan hingga suhu kamar. Setelah pendinginan, ditambahkan 9 mL 0,1 M trismaleat buffer pH 6,9 dan 1000 µL larutan α -amylase (40 mg α -amylase per 1000 µL buffer tris maleate). Kemudian, wadah ditempatkan selama 16 jam dalam 37° C penangas air dengan suhu konstan, selanjutnya disentrifugasi pada 2500 g selama 20 menit dan kemudian supernatan dibuang dan endapan dicuci dengan 10 mL air aquadest, kemudian disentrifugasi lagi dan supernatan dihilangkan. Selanjutnya, 3 mL air aquadest ditambahkan dengan hati-hati ke endapan diikuti oleh 3 mL KOH 4 M. Kontainer ditempatkan selama 30 menit dalam waterbath 37° C dengan pengocokan konstan. Kemudian, ditambahkan 5,5 mL HCl 2M dan 3 mL buffer natrium asetat 0,4 M dengan pH 4,75 diikuti oleh 80 µL amiloglukosidase, dicampur dengan baik dan ditempatkan dalam penangas air 60° C selama 45 menit dengan pengocokan konstan dan kemudian disentrifugasi pada 2500 g selama 20 menit. Supernatan diambil dan disimpan dalam tabung volume, kemudian residu dicuci dengan 10 mL aquadest dan disentrifugasi lagi. Selanjutnya, supernatan dikumpulkan dan air aquadest ditambahkan hingga 50 mL. Kurva standar disiapkan dari larutan glukosa 10-60 ppm dari kit GOD PAP. Selanjutnya, 0,5 mL masing-masing sampel, air dan standar ditempatkan ke dalam tabung pengukuran. Kemudian, ditambahkan 1 mL kit reagen GOD PAP dan menginkubasinya dalam penangas air 37° C selama 30 menit. Selanjutnya, absorbansi dibaca dengan spektrofotometer pada 510 nm. Bandingkan dengan blangko. RS dihitung menggunakan kurva glukosa standar. RS dinyatakan sebagai glukosa \times 0,9.

Kandungan amilosa: Sampel tepung kacang merah dianalisis menggunakan metode yang mengacu Juliano.[26] Analisis serat pangan larut (SDF) dan serat pangan tidak larut (IDF) diukur dengan merujuk Asp & Bjork.[27] Kapasitas Penahanan Air (WHC) dan Kapasitas Penahanan Minyak (OHC) ditentukan menurut Chau et al. metode dengan sedikit modifikasi. [28] Daya pembengkakan (SP) dan kelarutan tepung ditentukan berdasarkan metode Tester dan Morrison.[31] Sedangkan morfologi granula tepung kacang merah diperoleh menurut Chen et al. [29]

2.5. Analisis data

Semua analisis dilakukan dalam rangkap tiga. Data penelitian dianalisis menggunakan ANOVA satu arah dengan SPSS Versi 20 (SPSS Institute Inc., Cary, NC, USA). Jika perhitungan nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, Uji Rentang Berganda Duncan pada $\alpha = 5\%$ digunakan untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata sampel.

3. Hasil Dan Pembahasan

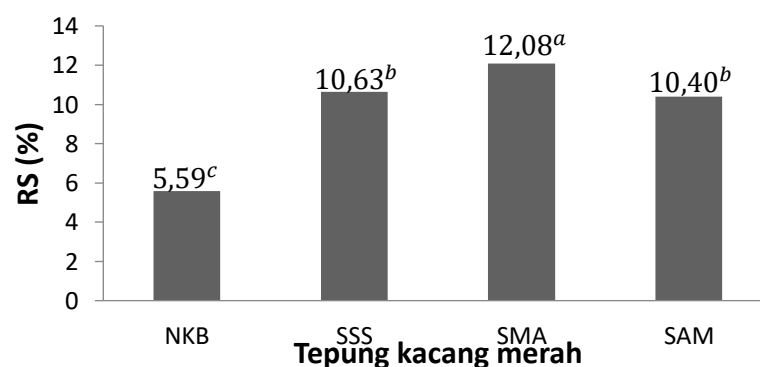
Kadar RS: Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar RS ketiga tepung kacang merah retrogradasi secara signifikan lebih tinggi dari NKB (5,59%). Kadar RS tepung SMA (12,08%)

secara signifikan lebih tinggi bila dibandingkan dengan tepung SSS (10,64%) dan tepung SAM (10,40%), sedangkan RS tepung SSS dan tepung SAM tidak signifikan. Peningkatan kadar RS ini terjadi karena gelatinisasi dan retrogradasi pati, Dundar dan Gocmen menyatakan bahwa massa molekul yang lebih rendah dan tidak bercabang dapat meningkatkan tingkat retrogradasi pati setelah gelatinisasi dan pendinginan.[15] Pembentukan RS melalui pembentukan jaringan gel yang kuat pada retrogradasi.[31] Kadar RS tepung SMA paling tinggi karena urutan proses model kombinasi pemanasan-pendinginan yang berbeda, yaitu: 1) pemanasan dengan pengukusan biasa pada air mendidih selama 30 menit. Pada tahap ini proses gelatinisasi dan retrogradasi yang terjadi menyebabkan berkurangnya pati dan amilosa pada tahap pemanasan kedua, 2) pemanasan dengan pengukusan menggunakan oven microwave. Model pemanasan microwave oven mengalirkan energi panas dari bagian dalam menuju ke permukaan produk, sehingga gelatinisasi pati yang masih ada lebih optimal dan 3) pengukusan menggunakan autoclav, model pengukusan bertekanan tinggi, sehingga pati yang masih tersisa tergelatinisasi lebih optimal.

Dalam penelitian ini digunakan metode pemanasan kombinasi pengukusan tradisional, pengukusan autoclav dan pengukusan menggunakan microwave, yang mirip metode annealing (pemanasan dengan kadar air >40%). Dalam studi sampel pati jagung dan kacang polong dengan metode annealing memiliki tingkat RS lebih tinggi dari sampel alami.[32]

Setelah pengukusan dan pendinginan dilanjutkan microwave/autoklav atau autoklav/microwave berpengaruh terhadap kerusakan granula pati. Perubahan struktur asli pati kacang merah ini menyebabkan pati tergelatinisasi optimal. Perubahan struktur pati kacang merah bisa dilihat pada Gambar 2. Gelatinisasi yang lebih optimal menyebabkan pati retrogradasi juga semakin banyak sehingga menghasilkan RS yang lebih banyak. Pati tergelatinisasi dan mengalami retrogradasi memungkinkan fraksi amilosa dan amilopektin berinteraksi membentuk heliks ganda sehingga struktur menjadi kenyal seperti karet, hal ini menyebabkan peningkatan stabilitas granula terhadap aktifitas enzim yang mengakibatkan peningkatan RS.[32]

Jumlah siklus pemanasan/pendinginan yang dilakukan dan waktu serta suhu penyimpanan juga mempengaruhi tingkat retrogradasi. Hal ini serupa dengan 3 kali siklus autoclaving-cooling terbukti menghasilkan kadar RS tepung gayam yang lebih tinggi dan tiga siklus autoclaving-cooling cukup untuk memproduksi pati RS jagung.[33][34] Peningkatan RS tepung kacang merah SMA berkisar antara 86,05% - 116,10%, hasil ini tidak jauh berbeda dengan laporan peningkatan RS pada pati kacang merah yang dikenai metode kombinasi gelatinisasi dan hidrolisis enzimatis dengan peningkatan RS sebesar 92,10%.[20]



Gambar 1. Kadar RS tepung kacang merah untuk NKB: tepung kacang merah alami; SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan; SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan. Nilai disampaikan sebagai rata-rata \pm SD pengukuran rangkap tiga. Nilai rata-rata disertai huruf superskrip yang sama pada grafik menunjukkan pengukuran yang tidak berbeda secara signifikan dari tes DMRT pada $\alpha = 5\%$.

Sifat fisiko-kimia: Komposisi kimia tepung NKB, SSS, SAM dan SMA ditunjukkan pada Tabel 1. Kadar air berkisar antara 7,29%-9,83% dan tepung kacang merah alami (NKB) memiliki kadar air terendah, kadar air ini masih dalam batas aman yang dianjurkan yaitu di bawah 14%. Kadar abu tertinggi pada tepung NKB, penurunan kadar abu pada ketiga tepung perlakuan diduga karena sebagian terlarut pada saat perendaman maupun proses pemanasan 3 kali. Kadar lemak tidak menunjukkan perubahan yang spesifik, tepung SSS mengalami peningkatan sedangkan tepung SMA dan SAM mengalami penurunan, bahkan kadar protein ketiga tepung perlakuan seolah-olah mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan terjadinya penurunan total padatan pada tepung akibat terlarut dan terbuangnya komponen-komponen tertentu bersama air pengukus. Penurunan total padatan terlarut inilah yang menyebabkan perubahan komposisi kimia berdasarkan berat kering (%bk). Kadar pati dan amilosa mengalami penurunan, hal ini sejalan dengan penurunan pati dan amilosa pada tepung gayam dengan semakin lamanya waktu pregelatinisasi dan pada tepung singkong.[33][35] Pada proses pengukusan terjadi pelepasan komponen pati dan amilosa yang terbawa pada air pengukus sehingga merubah komposisi padatan terlarut (*total solid*) pada tepung.[18] Tidak ada perbedaan yang ditemukan dalam kandungan total serat pangan dari tepung kacang merah alami dan ketiga tepung kacang merah pratanak, baik serat larut air maupun serat tidak larut, hal ini menunjukkan tepung kacang merah pratanak dapat menjadi sumber serat pangan yang memadai.

Sebagai perbandingan berdasarkan Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI, 2017) dalam 100 g kacang merah kering mengandung protein 22,10 g, lemak 1,10 g, karbohidrat 56,20 g, abu 2,90 g, air 17,7 g dan serat 4 g. Sedangkan tepung SMA mengandung protein 20,55 g, lemak 1,50 g, karbohidrat 64,91g, abu 3,95 g, air 9,10 g dan serat 27,09 g serta RS 12,08 g. Kadar proksimat tepung SMA tidak jauh berbeda dengan kacang merah kering dan memiliki kelebihan tepung tinggi serat dan RS.

Tabel 1. Sifat fisiko-kimia tepung kacang merah

Parameter	Tipe			
	NKB	SSS	SAM	SMA
Kadar air (%)	7,29 \pm 0,04 ^d	9,43 \pm 0,02 ^b	9,83 \pm 0,02 ^a	9,10 \pm 0,01 ^c
Abu (%)	4,19 \pm 0,01 ^a	3,79 \pm 0,15 ^c	3,91 \pm 0,02 ^b	3,95 \pm 0,05 ^b
Lemak (%)	1,54 \pm 0,01 ^b	1,71 \pm 0,06 ^a	1,49 \pm 0,06 ^c	1,50 \pm 0,01 ^c
Protein (%)	19,08 \pm 0,07 ^d	19,99 \pm 0,09 ^c	20,39 \pm 0,03 ^b	20,55 \pm 0,04 ^a
Karbohidrat bd (%)	75,20 \pm 0,11 ^a	65,10 \pm 0,08 ^b	64,39 \pm 0,02 ^b	64,91 \pm 0,01 ^b
Pati (%)	56,44 \pm 0,08 ^a	47,75 \pm 0,08 ^b	46,56 \pm 0,09 ^c	47,28 \pm 0,11 ^c
Amilosa (%)	18,24 \pm 0,21 ^a	16,23 \pm 0,06 ^c	15,76 \pm 0,55 ^d	16,52 \pm 0,64 ^b
TDF(%)				
SDF (%)	7,51 \pm 0,39 ^a	6,83 \pm 0,36 ^a	7,08 \pm 0,20 ^a	7,07 \pm 0,73 ^a
IDF (%)	20,48 \pm 1,94 ^a	19,46 \pm 0,43 ^a	20,29 \pm 0,65 ^a	20,02 \pm 0,78 ^a

TDF: serat pangan total; SDF: serat larut, IDF: serat tidak larut; NKB: tepung kacang merah alami; SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan & SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan. Nilai disampaikan sebagai rata-rata \pm SD

pengukuran rangkap tiga. Nilai yang diikuti oleh huruf superskrip yang sama pada baris yang sama menunjukkan pengukuran yang tidak berbeda secara signifikan dari tes DMRT pada $\alpha = 5\%$.

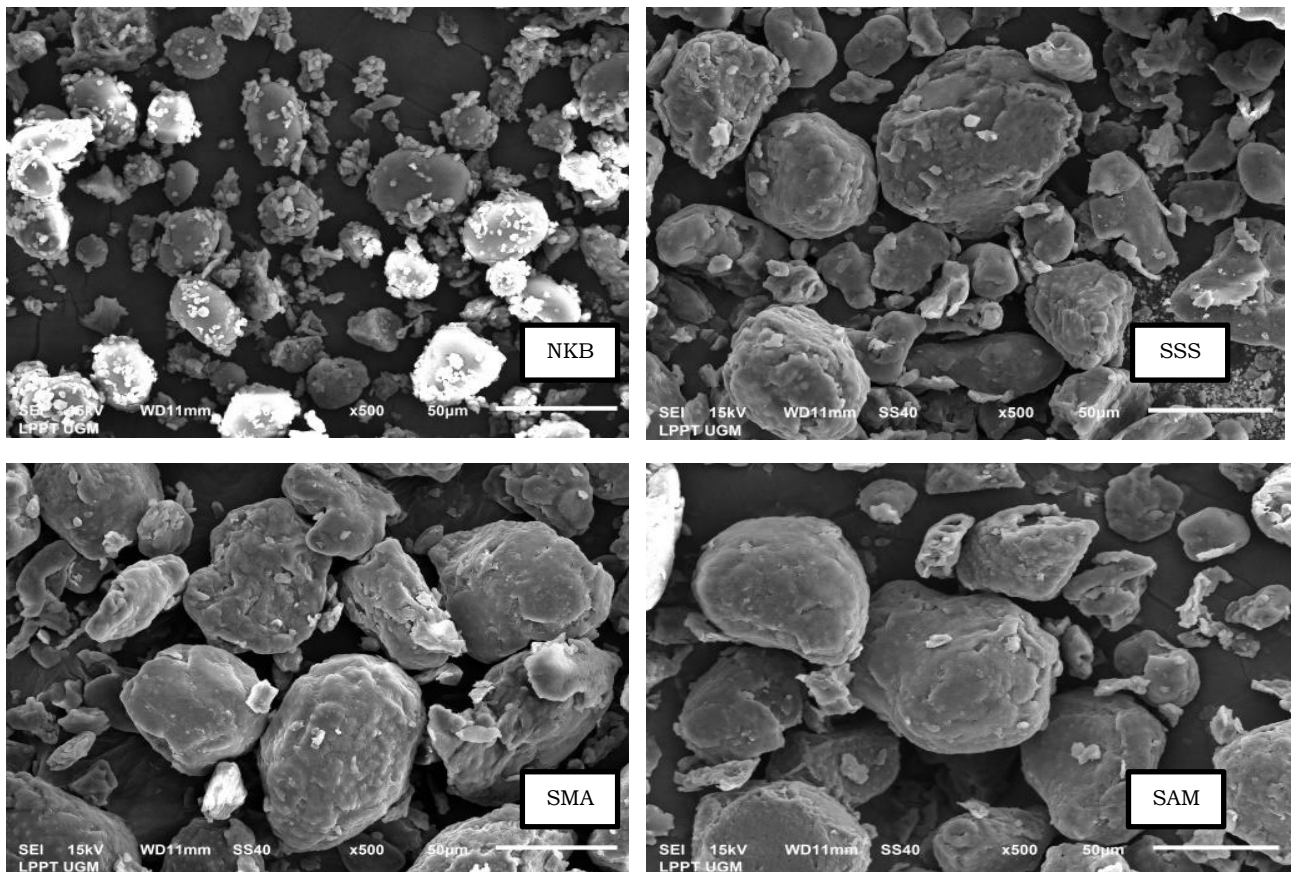
Sifat fungsional: Sifat-sifat fungsional tepung kacang merah disajikan dalam Tabel 2. Penurunan SP, WHC dan kelarutan pada penelitian ini diduga karena kehilangan pati selama pemanasan hingga mencapai 15,40 – 17,51% dan amilosa berkisar 8,33 – 12,55%. Karakteristik SP, WHC, OHC dan kelarutan dipengaruhi oleh kemampuan penyerapan air selama gelatinisasi. Kemampuan penyerapan air terjadi karena molekul pati memiliki gugus hidroksil (OH) sehingga pati mudah menyerap air. Pada pati alami yang tidak mengalami proses perlakuan, kemampuan penyerapannya dipengaruhi oleh kadar amilosanya.[36] Semakin tinggi kadar amilosa, berarti semakin banyak terdapat gugus OH yang bersifat hidrofil, sehingga makin banyak air yang terikat. Salah satu indikator penting proses gelatinisasi pati adalah pembengkakan ukuran granula pati yang biasanya diuji dengan sifat SP, WHC, OHC, dll. Pada penelitian ini penurunan pembengkakan akan mengakibatkan penurunan kelarutan.

Tabel 2. Sifat fungsional tepung kacang merah

Parameter	Tipe			
	NKB	SSS	SAM	SMA
WHC (g/g)	1,53±0,12 ^a	1,30±0,09 ^a	1,08±0,21 ^a	1,13±0,20 ^a
OHC (g/g)	0,57±0,03 ^a	0,51±0,01 ^b	0,49±0,01 ^b	0,52±0,04 ^b
Kelarutan (%)	21,68±1,58 ^a	12,66±0,56 ^b	4,19±0,14 ^d	9,17±0,17 ^c
SP (g/g)	3,63±0,18 ^{ab}	3,25±0,14 ^b	3,96±0,21 ^a	3,83±0,31 ^{ab}

WHC: kapasitas pengikatan air; OHC: kapasitas pengikatan minyak; SP: Swelling power; NKB: tepung kacang merah alami; SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan & SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan. Nilai disampaikan sebagai rata-rata ± SD pengukuran rangkap tiga. Nilai yang diikuti oleh huruf superskrip yang sama pada baris yang sama menunjukkan pengukuran yang tidak berbeda secara signifikan dari tes DMRT pada $\alpha = 5\%$.

Karakteristik morfologis: Pemindaian mikroskop elektron (Gambar 2) dari NKB yang dipelajari menunjukkan bulat, elips, bentuknya tidak beraturan, menyerupai ginjal dengan permukaan halus, dengan serpihan-serpihan luka fisik. SSS, SMA dan SAM menyerupai massa struktur kohesif yang amorf, mengarah hilangnya tampilan granular, permukaan kasar, memiliki bentuk yang tidak beraturan, ukuran lebih besar dan heterogen. Proses gelatinisasi ditandai terjadinya pengembangan granula pati, peluruhan dari bagian kristalit, hilangnya sifat *birefringence*, serta terjadinya peningkatan kekentalan dan kelarutan. Setelah pengembangan granula mencapai maksimum maka granula pati akan pecah.[29] Gelatinisasi dan teretrogradasi mengakibatkan struktur granular menghilang dan terbentuknya ikatan dengan bentuk tidak teratur dan seperti agregat molekul pati.[37] Akibat dari suhu gelatinisasi di mana butiran pati yang digabungkan terbentuk struktur seperti spons yang mengarah ke helix ganda di wilayah bagian dalam dari pati yang digradasi ulang, menyebabkan perubahan penampilan granular ke amorf.[20][37] Pada pati retrogradasi bentuk amorf ini menyebabkan enzim α -amilase tidak bisa mencerna.



Gambar 2. Pemindaian mikroskop elektron (SEM) pembesaran 500 kali dari NKB: tepung kacang merah alami; SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan; SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan.

Sifat-sifat pasta: Tabel 3, merangkum sifat-sifat pasta dari tepung kacang merah. Tepung kacang merah alami maupun ketiga tepung kacang merah retrogradasi menunjukkan bahwa temperatur pasta tidak terdeteksi, hal ini disebabkan ketidakmampuan membentuk gel akibat komposisi bahan selain pati yang cukup tinggi (protein, abu, serat, dll), temperatur pasta berbasis pati kacang merah sebesar $77,9^{\circ}\text{C}$. [20] Secara umum viskositas NKB lebih tinggi dari tepung kacang merah retrogradasi tetapi SSS, SMA dan SAM tidak ada perbedaan yang signifikan. Penurunan viskositas seiring dengan peningkatan kadar RS. Gelatinisasi dan retrogradasi pati dengan metode kombinasi fisik (SSS, SMA dan SAM) telah meningkatkan pembentukan molekul rantai linear pendek dan konten RS yang dapat dibuktikan dengan penurunan viskositas pasta SSS, SMA dan SAM seiring dengan berkurangnya kemampuan membentuk gel.[20][38][39]

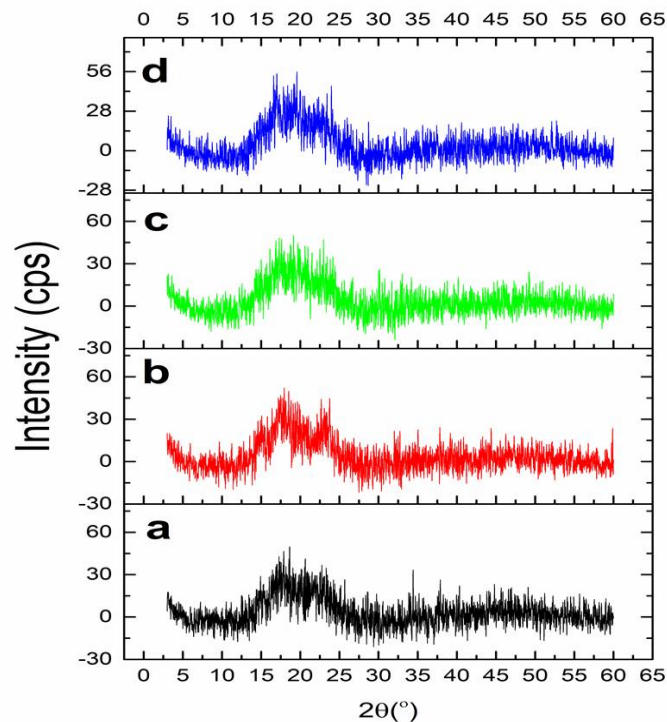
Kehilangan pati dan amilosa selama kombinasi proses pengukusan, penurunan WHC, SP, kelarutan, perubahan komposisi protein, lemak dan abu dan peningkatan RS menyebabkan ketidakmampuan membentuk gel. Ketidakmampuan membentuk gel menyebabkan penurunan viskositas dan ketika didinginkan tidak terbentuk pasta, sehingga tepung kacang merah tinggi RS ini dapat digunakan sebagai bahan substitusi atau bahan campuran. Pada penelitian yang lain bahkan menggunakan matrik pati kacang merah menunjukkan sifat pasta yang sama. Gelatinisasi dan hidrolisat enzimatis pati kacang merah telah meningkatkan pembentukan molekul rantai linear pendek dan konten RS yang dapat dibuktikan dengan penurunan viskositas pasta seiring dengan berkurangnya kemampuan membentuk gel.[20]

Tabel 3. Sifat pasta tepung kacang merah: suhu pasta ($^{\circ}\text{C}$), waktu puncak (min), viskositas puncak (cP), viskositas pegang (cP), viskositas akhir (cP), kerusakan akhir (cP), dan mengatur kembali (cP)

Sifat pasta	NKB	SSS	SMA	SAM
Pasting Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Td	Td	Td	Td
Peak Time (menit)	13,00 \pm 0,00 ^a	12,10 \pm 0,52 ^b	12,93 \pm 0,00 ^a	12,84 \pm 0,23 ^{ab}
Peak Viscosity (cP)	604,50 \pm 9,19 ^a	62,50 \pm 2,12 ^b	71,00 \pm 1,41 ^b	66,00 \pm 4,18 ^b
Hold Viscosity (cP)	607,50 \pm 9,19 ^a	61,50 \pm 2,12 ^b	70,00 \pm 1,41 ^b	64,00 \pm 2,83 ^b
Final Viscosity (cP)	1309,50 \pm 30,41 ^a	92,00 \pm 1,41 ^b	111,00 \pm 2,83 ^b	98,50 \pm 6,36 ^b
Break down Viscosity (cP)	-3,00 \pm 0,00 ^b	1,00 \pm 0,00 ^a	1,00 \pm 0,00 ^a	2,00 \pm 0,00 ^a
Set back Viscosity (cP)	702,00 \pm 21,21 ^a	30,50 \pm 0,71 ^b	41,00 \pm 4,24 ^b	34,50 \pm 3,54 ^b

Td: tidak terdeteksi; NKB: tepung kacang merah alami; SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan & SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan. Nilai disampaikan sebagai rata-rata \pm SD pengukuran rangkap tiga. Nilai yang diikuti oleh huruf superskrip yang sama pada baris yang sama menunjukkan pengukuran yang tidak berbeda secara signifikan dari tes DMRT pada $\alpha = 5\%$.

Difraksi Sinar-X (XRD): Pola difraksi sinar-X NKB, SSS, SMA dan SAM ditunjukkan pada Gambar 3. Keempat jenis tepung kacang merah mempunyai puncak difraksi sekitar sudut 17° dan 23° pada 2θ , dan tidak ada perbedaan yang nyata untuk posisi puncak pada keempat jenis tepung kacang merah. Berdasarkan pola kristalinitas, keempat jenis tepung tersebut memiliki granula pati tipe C. Granula pati tipe C ditandai adanya puncak difraksi dengan sudut 17° dan 23° pada 2θ , granula pati tipe C merupakan campuran antara tipe A dan B [40,41,42]. Tipe sejenis juga ditemukan pada pati kacang gude dari beberapa varietas [43]. Granula pati tipe C pada umumnya menunjukkan bahan tersebut lebih tahan terhadap pencernaan [44]. Meskipun pola difraksinya sama, tetapi terdapat perbedaan pada besarnya intensitas sinar X pada spektrum difraksinya. Berturut-turut intensitas sinar X NKB mempunyai intensitas sinar X paling rendah yaitu pada sudut difraksi (2θ) 17° sebesar 33,21 cps dan pada sudut difraksi (2θ) 23° sebesar 25,26 cps. Pati SMA mempunyai intensitas sinar X paling tinggi yaitu pada sudut difraksi (2θ) 17° sebesar 87,65 cps dan pada sudut difraksi (2θ) 23° sebesar 90,09 cps. Itulah sebabnya tepung SMA menghasilkan RS paling tinggi (12,08% bk), menunjukkan intensitas sinar X yang paling tinggi dibandingkan RS NKB (5,59% bk). Hal ini disebabkan intensitas spektrum difraksi dipengaruhi oleh rekristalisasi dan retrogradasi yang merubah strukturnya menjadi lebih keras [20].



Gambar 3. Difraksi sinar-X (XRD) untuk **a)** NKB: tepung kacang merah alami; **b)** SSS: retrogradasi dengan 3 kali siklus kukus-pendinginan; **c)** SMA: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, microwave-pendinginan, autoclave-pendinginan & **d)** SAM: retrogradasi dengan kombinasi perlakuan kukus-pendinginan, autoclave-pendinginan, microwave-pendinginan.

4. Kesimpulan

Tepung kacang merah pratanak metoda SMA menghasilkan kadar RS tertinggi, namun tidak merubah komposisi gizi yang lain seperti protein dan lemak. Beberapa perubahan karakteristik yaitu penurunan WHC, OHC, SP, tingkat kelarutan dan viskositas serta peningkatan RS, pola kristalinitas granula pati yaitu tipe C menyebabkan ketidakmampuan membentuk gel sehingga tidak bisa membentuk pasta. Tepung kacang merah pratanak tinggi RS ini baik digunakan sebagai bahan campuran dan berpotensi sebagai komponen pangan fungsional.

5. Referensi

- [1] Aman, A.M., Soewondo, P., Soelistijo, S.A, Arsana, P.M., Wismandari, Zufri, H dan Rosandi, R, "Panduan pengelolaan Dislipidemia di Indonesia", PB. Perkeni, 2019.
- [2] Athur, SL, "Dyslipidemia and risk of coronary heart disease: Role of lifestyle approaches for its management", *American Journal of Lifestyle Medicine*, 3(4):257-273, 2009.
- [3] Anonim, World Health Organization, "The top 10 causes of death". Diakses dari <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. (20 Desember 2019).
- [4] Marsono, Y, "*Serat pangan dalam perspektif ilmu gizi*", Pidato Pengukuhan Guru Besar, UGM, Yogyakarta, 2004.
- [5] Sayago-ayerdi, Mateos, R., Ortiz-Basurto, RI., Largo,C, Serrano, J., Granado-Serrano, AB, Sarria, B, Bravo, L, Tabernero, M, " Effects of Consuming Diets Containing Agave Tequilana Dietary Fibre", *Jamaica Food Chemistry* 148: 54-59, 2004.
- [6] Marsono, Y., Wiyono, P., Noor, Z, "Glycemic Index of Selected Legumes". *Jurnal Teknol. Dan Industri Pangan*, Vol. XIII, N0. 3 Th. 2002; 211-216. (1), 2004.

- [7] Reyes-Moreno, C., & Paredes-Lopez, O, "Hard-to-cook phenomenon in common beans – A review", *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 33, 227–286, 1993.
- [8] Dupuis, J.H., Liu, Q. and Yada, R.Y, "Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches": A Review. *Journal of Food Science*. Vol. 13, 2014.
- [9] Wahyuningsih, S.B., Marsono, Y., Praseptiangga, D & Haryanto, B, "Resistant Starch Content and Glycaemic Index of Sago (*Metroxylon* spp.) Starch and Red Bean Base Analogue Rice. *Pakistan Journal of Nutrition* 15(7):667-672. 2016.
- [10] Marsono, Y., Noor, Z. & Rahmawati, F, "Effect of Red Bean Diet on Blood Glucose Concentration of Alloxan-Induced Diabetic Rats", *Jurnal. Teknol. Dan Industri Pangan*, Vol. XIV, No.1 Th. 2003.
- [11] Morita, T., Hayashi, J., Motoi, H., Yagishita, T., Takeya, K., Sugiyama, K, "In vitro and in vivo digestibility of recrystallized amylose and its application for low glycemic foods", *Journal of Food Science*, 70, 179–185, 2005.
- [12] Cummings, J. H., Beatty, E. R., Kingman, S. M., Bingham, S. A., & Englyst, H. N, "Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel". *British Journal of Nutrition*, 75, 733–747, 1996.
- [13] Birkett, A., Muir, J. G., Phillips, J., Jones, G. P., & Deak, O, "Resistant starch lowers fecal concentrations of ammonia and phenols in humans". *American Journal of Clinical Nutrition*, 63, 766–772, 1996.
- [14] Lehmann, U., Jacobasch, G. dan Schmiedl, D, "Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*)", *J Agricultural and Food Chemistry* 50: 5236-5240, 2002.
- [15] Dundar AN, Gocmen D, "Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physicochemical properties". *Carbohyd Polym* 97:764–71, 2013.
- [16] Faridah, D.N., Rahayu, W.P. dan Apriyadi, M.S, "Modifikasi pati garut (*Marantha arundinacea*) dengan perlakuan hidrolisis asam dan siklus pemanasan-pendinginan untuk menghasilkan pati resisten tipe 3". *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1): 61-69, 2013.
- [17] Zhang J, Wang Z, Shi X, "Effect of microwave heat/moisture treatment on physicochemical properties of *Canna edulis* Ker starch". *J Sci Food Agr* 89(4):653–664, 2009.
- [18] Marsono, Y. dan Topping, D.L, "Complex carbohydrates in Australian rice products". *Food Science and Tehcnology (LWT)* 26: 364-370, 1993.
- [19] Muzdalifah, D, "Pengaruh pratanak terhadap RS dan sifat hipoglikemik kacang merah pada tikus SD. Tesis. Pascasarjana FTP Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 2009.
- [20] Reddy, C.K, Suriya, M.& Haripriya, S, "Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*.L) starch by enzymatic method". *Carbohydrate Polymers*, 95, 220–226, 2013.
- [21] Anugrahati, NA. dan dan Widjanarko, AM, "Characteristic of autoclaveed, cooled and autoclaved-cooled red kidney bean flour", *FaST- Jurnal Sains dan Teknologi e* - ISSN 2598-9596. 2:72-79, 2018.
- [22] Dupuis, J.H., Liu, Q. and Yada, R.Y, "Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review". *Journal of Food Science*. Vol. 13, 2014.
- [23] BeMiller, J. N., Whistler, R., & Starch, L, "Chemistry and Technology ((3rd ed.))". New York, USA: Elsevier Academic Press, 2009.
- [24] AOAC, "Official methods of analysis of AOAC International, 2 vols. 16th ed". Association of Analytical Communities. Arlington, VA, USA, 1995.
- [25] Goni, I., Garcia-Diz, L., Manas, E. dan Saura-Calixto, F, "Analysis of resistant starch: method for foods and food products". *J. Food Chemistry* 56 (4): 445-449, 1996.

- [26] Juliano, B.O, "A simplified assay for milled rice amylose". *Cereal Science Today* 16: 334-338, 1971.
- [27] Asp, N.-G. dan Bjork, I, "Resistant starch". *Trends in Food Science and Technology* 3: 111–114, 1992.
- [28] Chau, C.F. dan Cheung, P.C.K, "Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds", *Food Chem.* 61: 429-433, 1997.
- [29] Tester, R.F. dan Morrison, W.R, "Swelling gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose and lipids". *Cereal Chemistry* 67: 551-557, 1990.
- [30] Jinglin, Y.I., Wang, S., Fengmin, J., Sun, L. dan Yu, J, "The structure of C-type rhizome *Dioscorea* starch granule revealed by acid hydrolysis method", *Food Chemistry* 113(2): 585-591, 2009.
- [31] Jane, J. L., & Chen, J. F, "Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch", *Cereal Chemistry*, 69, 60–65, 1992.
- [32] Chung H, Liu Q, Hoover R. 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. *Carbohyd Polym* 75:436–47, 2009.
- [33] Wijanarka, A., Sudargo, T., Harmayani, E. & Marsono, Y, "Changes in resistant starch content and glycemic index of pregelatinized gayam (*Inocarfus fagifer* Forst.) flour", *Pakistan Journal of Nutrition* 15(7):649-654, 2016.
- [34] Zhao, X.H. dan Lin, Y, "The impact of coupled acid or pullulanase debranching on the formation of resistant starch from maize starch with autoclaving–cooling cycles", *Eur. Food Res. Technol.* 230:179–184, 2009.
- [35] Palupi, HT., Zainul, A. dan Nugroho, A.M, "Pengaruh pre gelatinisasi terhadap karakteristik tepung singkong", *Teknologi Pangan* 1(1): 1-14, 2011.
- [36] Singh, J., Singh, N., Sharma, T. dan Saxena, S, "Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours", *Food Chemistry* 83 (3): 387-393, 2003.
- [37] Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S, "A new insight into the gelatinization process of native starches", *Carbohydrate Polymers*, 67, 511–529, 2007.
- [38] Gelencser, T., Juhasz, R., Hodsagi, M., Gergely, S. Z., & Salgo, A, "Comparative study of native and resistant starches". *Acta Alimentaria*, 37, 255–270, 2008.
- [39] Polesi, L. F., & Sarmiento, S. B. S, "Structural and physicochemical characterization of RS prepared using hydrolysis and heat treatments of chickpea starch", *Starch/Starke*, 63, 226–235, 2011.
- [40] Miao, M., Zhang, T., & Jiang, B, "Characterizations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China". *Food Chemistry*, 113, 1025–1032, 2009.
- [41] Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J. dan Liu, Q, "Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review". *Food Research International* 43: 399-413, 2010.
- [42] Wang, Y., Zhang, L., Li, X. dan Gao, W, "Physicochemical Properties of Starches from Two Different Yam (*Dioscorea Opposita* Thunb.) Residues". *Brazilian Archives of Biology and Technology* 54(2): 243-251, 2011.
- [43] Kaur, M. dan Sandhu, K.S, "In vitro digestibility, structural and functional properties of starch from pigeon pea (*Cajanus cajan*) cultivars grown in India", *Food Research International* 43: 263-268, 2010.
- [44] Tharanathan, R.N. dan Mahadevamma, S, "Grain legumes - a boon to human nutrition", *Trends Food Sci Technol* 14:507-518, 2003