

## KRISTALINITAS DAN KEKERASAN BERAS ANALOG YANG DIHASILKAN DARI PROSES EKSTRUSI PANAS TEPUNG JAGUNG

[Crystallinity and Hardness of Rice Analogue Produced from Corn Flour through Hot Extrusion Processes]

Faleh Setia Budi<sup>1,2)\*</sup>, Purwiyatno Hariyadi<sup>1,2)</sup>, Slamet Budijanto<sup>1,2)</sup>, dan Dahrul Syah<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

<sup>2)</sup>Southeast Asian Food and Agricultural Science and Technology Center, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Diterima 18 April 2017 / Disetujui 05 Juni 2017

### ABSTRACT

Rice analogues are food products made from broken rice and/or any other carbohydrate sources to have similar texture and shape to those of rice. Corn flour can be used as a material to make the rice analogues because it has various amylose contents ranging from low, medium, and high so that it is possible to make the dough with different levels of amylose contents. High temperature extrusion process may change crystallinity of starch (crystal type of A to V and degree of crystallization). Changes in starch crystallinity may influence the physical properties of the rice analogue produced. This research aimed to assess the effect of flour amylose content and temperature of extrusion on the crystallinity and its impact on physical properties of rice analogue. High amylose corn starch and corn flour were mixed at certain ratios to obtain amylose contents of 16.99, 19.35, 21.72, and 24.09%. The dough was made by adding water to the mixed flour to have a moisture content of 40%. The dough was then extruded at temperatures of 70, 80, and 90°C using a twin screw extruder (BEX-DS-2256 Berto). The observed physical properties were type of crystal, degree of crystallinity, and hardness of the rice analogue. The results showed that the increase in extrusion temperatures from 70°C to 90°C increased the degree of crystallinity of the rice analogues from 7.98-11.49% to 12.15-13.61% and hardness from 4.06-4.91 kg to 4.74-8.20 kg. The increase in amylose contents (from 16.99% to 24.09%) enhanced the hardness of the rice analogue from 4.06-4.74 kg to 4.91-8.20 kg but did not show any significant effects on the degree of crystallinity. The degree of crystallinity is positively correlated with the hardness of rice analogue (correlation coefficient  $r=0.8$ ).

**Keywords:** corn flour, crystallinity, extrusion, hardness, rice analogue

### ABSTRAK

Beras analog merupakan produk pangan yang dibuat dari beras patah dan/atau sumber karbohidrat lain yang dibuat menyerupai bentuk dan tekstur beras. Tepung jagung dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat beras analog karena memiliki kadar amilosa beragam dari rendah, medium, dan tinggi sehingga memungkinkan untuk membuat adonan dengan kadar amilosa yang bervariasi. Pengaplikasian suhu tinggi dari proses ekstrusi mengubah kristalinitas pati (tipe kristal A menjadi V dan derajat kristalinitas). Perubahan kristalinitas pati tersebut perlu diinvestigasi lebih lanjut karena diduga memengaruhi sifat-sifat fisik beras analog yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kadar amilosa tepung dan suhu ekstrusi terhadap perubahan kristalinitas tersebut dan dampaknya terhadap sifat-sifat fisik beras analog yang dihasilkan. Pati jagung berkadar amilosa tinggi dan tepung jagung dicampur dengan rasio tertentu untuk memperoleh tepung dengan kadar amilosa 16,99; 19,35; 21,72; dan 24,09%. Adonan dibuat dengan menambahkan air ke campuran tepung untuk mendapatkan kadar air 40%. Kemudian adonan tersebut diekstrusi pada suhu ekstrusi 70, 80, dan 90 °C menggunakan ekstruder ulir ganda (BEX-DS-2256 Berto). Sifat-sifat fisik yang diamati adalah tipe kristal, derajat kristalinitas dan kekerasan beras analog. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu ekstrusi dari 70 °C sampai 90 °C meningkatkan derajat kristalinitas dari 7,98-11,49% menjadi 12,15-13,61% dan kekerasan dari 4,06-4,91 kg menjadi 4,74-8,20 kg. Peningkatan kadar amilosa dari 16,99% sampai 24,09% meningkatkan kekerasan beras analog dari 4,06-4,74 kg menjadi 4,91-8,20 kg tetapi tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap derajat kristalinitas. Derajat kristalinitas berkorelasi positif dengan kekerasan beras analog dengan nilai koefisien korelasi  $r=0,8$ .

**Kata kunci:** beras analog, ekstrusi, kekerasan, kristalinitas, tepung jagung

## PENDAHULUAN

Selama satu dekade terakhir, beras analog mendapatkan perhatian yang cukup besar dari beberapa negara di dunia seperti China, India, Indonesia, Philipina, dan Jepang. Beras analog dapat didefinisikan sebagai produk beras tiruan yang memiliki sifat-sifat yang mirip dengan beras dan dibuat dari beras patah maupun bahan pangan non beras (Machmur *et al.*, 2011; Mishra *et al.*, 2012). Pembuatan beras analog dari bahan pangan non beras dapat dimanfaatkan untuk mendukung program diversifikasi pangan suatu negara yang memiliki tingkat konsumsi beras yang tinggi dan tingkat konsumsi pangan non beras yang rendah (Budijanto dan Yuliyanti, 2012).

Sumber makanan pokok non beras yang meliputi jagung, sorghum, ubi jalar dan sebagainya dapat diekstrusi menjadi beras analog. Sumber makanan pokok non beras tersebut memiliki sifat-sifat kimia dan fisik yang berbeda khususnya kandungan amilosanya (Wang *et al.*, 2014). Perbedaan kandungan amilosa di dalam bahan dapat memengaruhi proses ekstrusi dan sifat-sifat beras analog yang dihasilkan. Hoan *et al.* (2010) mempelajari pengaruh kadar amilosa terhadap sifat-sifat fisik dan fungsional produk terekstrusi dan Xie *et al.* (2009) mengkaji sifat-sifat rheologi pati jagung dengan kadar amilosa yang berbeda. Jagung diminati untuk digunakan sebagai bahan karena jagung dengan kadar amilosa yang berbeda (rendah, medium dan tinggi) dapat diperoleh dari alam. Pati jagung berkadar amilosa tinggi digunakan untuk meningkatkan kadar amilosa tepung jagung sehingga dapat diperoleh tepung jagung simulasi dengan kadar amilosa yang berbeda tanpa merubah kristal tepung jagung yang bertipe A (Wang *et al.*, 2014). Di samping itu jagung juga telah dikenal sebagai sumber makanan pokok di dunia, termasuk Indonesia.

Beberapa peneliti telah menggunakan teknologi ekstrusi untuk membuat beras analog dari bahan beras (Koide *et al.*, 1999; Zhuang *et al.*, 2010). Ekstrusi merupakan proses plastisasi bahan pangan yang mengandung pati dan atau protein di dalam pipa (*barrel*) dengan menggabungkan proses pencampuran, pemanasan, pemotongan mekanis (*mechanical shearing*) dan melewati *die* yang didesain untuk mendapatkan produk dengan bentuk tertentu (Budi *et al.*, 2013). Sementara itu Budijanto *et al.* (2012) dan Budi *et al.* (2015a) telah membuat beras analog dari bahan campuran tepung jagung-pati sagu dan tepung jagung-pati jagung dengan menggunakan teknologi ekstrusi panas. Namun ada permasalahan yang muncul dalam pembuatan beras analog, yaitu mudah hancurnya beras analog yang

dihasilkan ketika dikemas atau selama pengiriman dan penyimpanan di gudang yang disebabkan oleh tekanan saat beras analog terkemas ditumpuk selama pengiriman atau penyimpanan di gudang. Sifat fisik beras analog yang terkait dengan masalah ini adalah kekerasan yang merupakan parameter untuk mengukur kekuatan biji beras analog terhadap gaya yang menekannya atau dapat didefinisikan sebagai titik hancur beras analog (Ajeigbe *et al.*, 2008). Kajian hubungan antara perubahan kristalinitas dan kekerasan sebagai fungsi dari kadar amilosa perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Pada awalnya kekerasan beras analog diduga berkaitan dengan derajat gelatinisasi yang dicapai pada akhir proses. Koide *et al.* (1999) melaporkan bahwa pembuatan beras analog dengan teknologi ekstrusi pada kadar air 30–40% dan suhu ekstrusi 80°C menghasilkan beras analog dengan derajat gelatinisasi 50–60% dan pada suhu ekstrusi 120°C mencapai 90% atau lebih. Zhuang *et al.* (2010) juga melaporkan bahwa semakin tinggi suhu ekstrusi menyebabkan derajat gelatinisasi pati semakin tinggi. Namun penelitian Budi *et al.* (2015a) memberikan hasil yang berbeda dan menunjukkan bahwa proses ekstrusi panas pada suhu ekstrusi 70–90°C dan kadar air adonan 35–45% telah menyebabkan granula pati tergelatinisasi sempurna dengan didukung data DSC dan mikroskop cahaya terpolarisasi karena perbedaan pada tahap penambahan air yang lebih awal dilakukan pada adonan umpan. Pengukuran derajat gelatinisasi dengan DSC berdasarkan perubahan *enthalpy* gelatinisasi pada bahan pati sebelum dan sesudah ekstrusi dan dengan mikroskop cahaya terpolarisasi berdasarkan perubahan jumlah granula pati yang masih menunjukkan *birefringence* sebelum dan sesudah proses ekstrusi telah mengoreksi kelemahan metode spektrofotometer Koide *et al.* (1999). Temuan Budi *et al.* (2015a) di dukung Liu *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa proses pemanasan dan pemotongan mekanis (*mechanical shearing*) pada proses ekstrusi telah menyebabkan terjadinya perusakan granula pati dan molekul amilopektin. Di samping itu beras analog yang dihasilkan juga memiliki tipe kristal V akibat terbentuknya senyawa kompleks amilosa-lipid. Perubahan kristalinitas beras analog selama proses ekstrusi memengaruhi sifat-sifat fisik beras analog yang dihasilkan. Penelitian beras analog dari bahan tepung dan pati jagung serta fokus kajian perubahan kristalinitas tersebut dan pengaruhnya terhadap kekerasan beras analog belum ada yang melakukan sebelumnya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kadar amilosa adonan berbahan jagung dan suhu ekstrusi terhadap kristalinitas beras analog dan sifat fisik beras analog.

\*Penulis Korespondensi:  
E-mail: phariyadi@ipb.ac.id dan faleh\_sb01@yahoo.com

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan beras analog terdiri dari tepung jagung (PT. Matahari Corn Mill, Indonesia), pati jagung (Pd. Anugerah, Indonesia), gliserol monostearat (GMS) (Dimodan HP-M, Danisco Sdn Bhd, Malaysia), dan air. Tepung jagung dan pati jagung dikarakterisasi dengan menganalisis kadar air (AOAC Metode 925.10), kadar abu (AOAC Metode 923.03), kadar lemak (AOAC Metode 920.39), dan kadar protein (AOAC Metode 960.52) (AOAC, 2009). Kadar total karbohidrat tepung dan pati jagung dihitung dengan metode *by difference*. Kadar pati total dari tepung dan pati jagung ditentukan dengan metode *colorimetry* menggunakan senyawa anthrone setelah dilakukan ekstraksi dan hidrolisa menjadi glukosa (Kang *et al.*, 2017). Kadar amilosa ditentukan dengan Metode Spektrofotometer (Mahmood *et al.*, 2007). Semua analisa kimia bahan diulang dua kali dan hasilnya ditampilkan sebagai nilai rata-rata  $\pm$  standar deviasi.

### Metode

Pati jagung dan tepung jagung dicampur dengan rasio 10/90, 20/80, 30/70, dan 40/60 (w/w) di dalam *mixer* (HD *Mixer*, PT. Bertindomas Ciptasatya, Indonesia) untuk mendapatkan adonan dengan kadar amilosa 16,99; 19,35; 21,72; dan 24,09%; kemudian ditambah dengan gliserol monostearate (Dimodan HP-M, Danisco Sdn Bhd, Malaysia) sebanyak 2%. Air ditambahkan secara bertahap ke adonan sampai kadar airnya mencapai 40%. Setelah homogen adonan dibiarkan selama 2 jam di dalam kemasan plastik. Selanjutnya adonan dimasukkan ke dalam *hopper* untuk diumpukan ke dalam ekstruder ulir ganda (Berto BEX-DS-2256, PT. Bertindomas Ciptasatya, Indonesia). Setelah suhu *barrel* mencapai 70, 80, dan 90°C dan kecepatan putar ulir 75 rpm, *auger* dioperasikan dengan kecepatan 30 rpm untuk mengalirkan adonan dengan laju 26,4 kg basis kering/jam. Ekstrudat yang keluar dari *die* dipotong dengan pisau pada kecepatan putar tertentu. Setelah proses tunak (*steady*) dan menghasilkan ekstrudat yang baik, produk diambil dan dikeringkan dengan *tray drier* (ND4-60SP, Terada Seisakusho Co. Ltd., Jepang) pada suhu 60°C selama 3 jam. Sampel ekstrudat yang sudah kering dikumpulkan dan dianalisis sifat-sifat fisiknya.

Setiap perlakuan diulang dua kali dan percobaan dirancang menggunakan rancangan acak lengkap faktorial (RAL faktorial). Variabel-variabel yang dipilih sebagai faktor percobaan adalah suhu ekstrusi pada level 70, 80, dan 90°C dan kadar amilosa adonan pada level 16,99; 19,35; 21,72; dan 24,09%.

Parameter-parameter yang diamati antara lain: derajat kristalinitas dengan XRD, kekerasan, karakteristik panas dengan DSC, dan mikrostruktur beras analog dengan SEM.

### Difraksi sinar X (XRD)

Sampel beras analog dihaluskan menjadi tepung dan ditempatkan pada wadah sampel khusus dari aluminium untuk dipapar sinar X monokromatik radiasi Cu-K $\alpha$  ( $\lambda=1,54$  A) yang dihasilkan oleh *X Ray Diffraction* (XRD 7000 maxima X, Shimadzu Ltd., Jepang) di Laboratorium Masyarakat Nano Indonesia Puspitek Serpong. Sudut refleksi pemindaian 5-30° dengan peningkatan 0,02° (Shih *et al.*, 2007). Difraktogram sinar X yang diperoleh didekonvolusi dengan menggunakan *software* Origin 8.0 dan derajat kristalinitas (DK) dihitung dengan metode *curve fitting* menggunakan persamaan berikut:

$$DK = Ak/At \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Ak adalah luas daerah kurva kristal dan At merupakan luas daerah kurva total (kristal + *amorf*) (Terinte *et al.*, 2011). Pengukuran derajat kristalinitas diulang dua kali untuk setiap sampel.

### Differential scanning calorimetry

Beras analog dihaluskan menjadi tepung dan ditimbang 3 mg di dalam wadah sampel khusus (*pan cell* no. 201-53090). Sepuluh mikroliter akuades ditambahkan dengan mikropipet dan kemudian *pan cell* ditutup rapat hingga kedap. *Pan cell* yang berisi sampel dan akuades dibiarkan selama 2 jam pada suhu ruang untuk mencapai kesetimbangan dan kemudian dianalisis dengan memanaskannya menggunakan *Differential Scanning Calorimeters* (DSC 60 Shimadzu, Jepang) di Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, Institut Pertanian Bogor dari suhu 40-120°C dengan laju pemanasan 5°C/menit (Gelders *et al.*, 2004).

### Kekerasan beras analog

Kekerasan beras analog yang dihasilkan diukur dengan alat *Hardness Tester* (Kiya Seisaku Shd. Ltd., Jepang). Pengukuran dilakukan sebanyak 30 kali. Sebutir beras analog ditempatkan di meja sampel. Jarum hitam dan jarum merah diatur berimpit dan menunjuk angka 0 dengan posisi jarum merah berada di sebelah kanan jarum hitam. Roda penekan diputar ke kanan agar turun dan menekan beras analog. Jika beras analog yang ditekan pecah, hentikan pemutaran roda penekan. Hasil pengukuran dibaca dengan melihat posisi jarum merah yang menunjuk ke angka tertentu (Ajeigbe *et al.*, 2008). Data disajikan sebagai rata-rata  $\pm$  standar deviasi.

### Mikrostruktur beras analog

Sampel beras analog dipotong melintang dan ditempatkan pada kedudukan sampel. Potongan sampel yang telah dilapisi logam Au ditempatkan pada lokasi sampel di dalam alat *Scanning Electron Microscope* SEM (Jeol JSM-5310 LV, Jepang) di Laboratorium Zoologi LIPI Biologi Cibinong dan tabung divakumkan (0 Pa). Perbesaran yang digunakan adalah 750x dan jika sudah mendapatkan gambar yang baik, dilakukan penyimpanan gambar dalam bentuk file (Budi *et al.*, 2015b).

### Analisis statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan Program SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Hasil yang diperoleh dalam penelitian dinyatakan sebagai nilai rata-rata dari beberapa ulangan  $\pm$  standard deviasi. Analisa varian yang dihasilkan oleh pengolahan data dengan Program SPSS 20 digunakan untuk mengevaluasi pengaruh faktor-faktor percobaan. Jika faktor mempunyai nilai signifikansi  $\alpha < 0,05$  maka faktor mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon. Faktor-faktor percobaan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil percobaan dilakukan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) (pada level  $P=0,05$ ) untuk mengetahui perbedaan hasil percobaan pada beberapa level faktor percobaan tersebut. Koefisien korelasi Pearson digunakan untuk menentukan hubungan antara derajat kristalinitas dan kekerasan beras analog.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik bahan (tepung dan pati jagung)

Perbandingan komposisi kimia tepung jagung terhadap pati jagung menunjukkan bahwa tepung jagung mengandung protein 1,720% dan lemak 595% dari komposisi pati jagung, sedangkan kadar karbohidrat tepung jagung 89,37% dari karbohidrat pati jagung (Tabel 1). Tepung jagung mengandung amilosa 38,18% dan pati 82,09% dari kadar amilosa dan pati dalam pati jagung. Namun kadar serat tepung jagung 1,829% dari kadar serat pati jagung (Tabel 2). Tepung jagung dan pati jagung diperoleh dari perusahaan yang berbeda. Perbedaan komposisi kimia dapat disebabkan oleh tipe/varietas jagung dan proses pengolahannya. Setiap varietas jagung mempunyai komposisi kimia yang spesifik yang dipengaruhi oleh cuaca, tanah, pupuk dan sebagainya. Tepung jagung diproses dengan menggiling endosperm jagung kering (*grits*) sehingga semua komponen yang ada di dalam endosperm akan berada di dalam tepung jagung (Gragasin dan Martinez, 2015). Pati jagung diekstrak dari jagung yang telah direndam dengan menggunakan air dan digiling dan kemudian dikeringkan sehingga kom-

ponen pati akan menjadi sangat dominan di dalam produk pati jagung (Eckhoff dan Watson, 2009).

Tabel 1. Hasil analisis proksimat tepung dan pati jagung

Parameter	Tepung Jagung	Pati Jagung
Kadar air (%)	12,29 $\pm$ 0,02	12,04 $\pm$ 0,05
Kadar abu (%)	0,67 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,01
Lemak (%)	1,19 $\pm$ 0,08	0,20 $\pm$ 0,02
Protein (%)	7,91 $\pm$ 0,07	0,46 $\pm$ 0,02
Karbohidrat (%)	77,94 $\pm$ 0,17	87,21 $\pm$ 0,03

Sumber: Budi *et al.* (2015a)

Tabel 2. Kadar pati, amilosa dan serat dari tepung dan pati jagung

Parameter	Tepung Jagung	Pati Jagung
Pati (%)	71,20 $\pm$ 2,14	86,73 $\pm$ 2,81
Amilosa (%)	14,62 $\pm$ 0,13	38,29 $\pm$ 0,34
Serat (%)	5,93 $\pm$ 0,06	0,46 $\pm$ 0,07

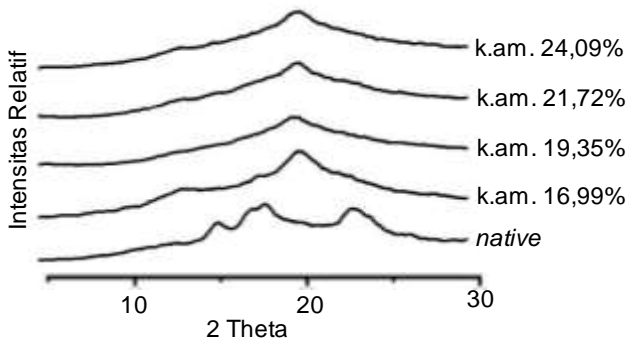
Sumber: Budi *et al.* (2015a)

Difraktogram sinar X menunjukkan bahwa tepung dan pati jagung keduanya mempunyai tipe kristal yang sama yaitu tipe kristal A yang ditandai dengan adanya *peak-peak* pada sudut refleksi 2 $\theta$ : 15, 17, 18 dan 23°. Namun demikian derajat kristalinitas pati jagung (29,08%) lebih rendah dibanding derajat kristalinitas tepung jagung (32,75%). Perbedaan tersebut disebabkan oleh kadar amilosa pati jagung yang lebih tinggi (38,29%) daripada tepung jagung (14,62%). Komponen amilosa tidak terlibat dalam pembentukan kristal di dalam granula pati yang terbentuk dari struktur *double helice* rantai cabang molekul amilopektin (Alcazar-Alay dan Meireles, 2015). Kibar *et al.* (2010) yang melakukan studi gelatinisasi pati jagung pada berbagai kadar amilosa melaporkan bahwa pati jagung dengan kadar amilosa rendah sampai sedang memiliki tipe kristal A dan pati jagung berkadar amilosa tinggi mempunyai tipe kristal B tetapi tidak ada korelasi yang teramati antara derajat kristalinitas dan kadar amilosa pati jagung.

### Tipe kristal dan derajat kristalinitas beras analog

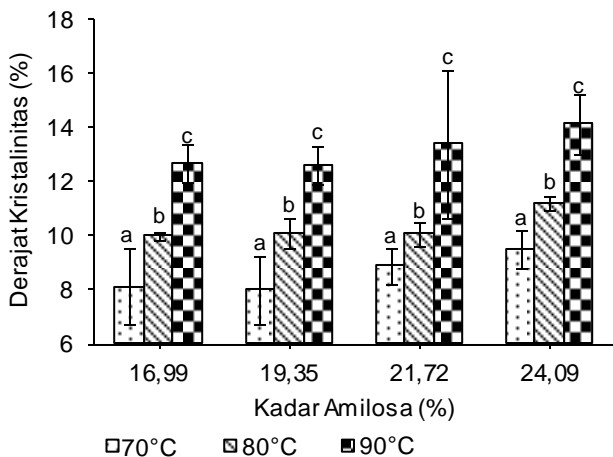
Proses ekstrusi pembuatan beras analog pada berbagai perlakuan percobaan (suhu ekstrusi 70, 80, 90°C dan kadar amilosa 16,99; 19,35; 21,72; dan 24,09%) telah mengubah bentuk tipe kristal bahan tepung jagung dari A menjadi V yang ditandai dengan bergesernya *peak* kurva kromatogram dari 15, 17, 18, dan 23° menjadi 7, 13, dan 20° (Gambar 1). Perubahan bentuk tipe kristal tersebut dapat disebabkan oleh pembentukan senyawa kompleks amilosa-lipid pada saat proses ekstrusi. Pembentukan senyawa kompleks amilosa-lipid juga dilaporkan Frost *et al.* (2009) yang mengekstrusi pati jagung pada suhu 60-100°C. Jadi, tipe kristal beras analog sangat berbeda dari beras kontrol IR 64 yang

memiliki tipe kristal A, sama seperti tepung jagung karena keduanya termasuk golongan sereal.



Gambar 1. Difraktogram XRD tepung jagung dan beras analog yang diproduksi pada suhu ekstrusi 80°C dan kadar air 40% (k.am.: kadar amilosa)

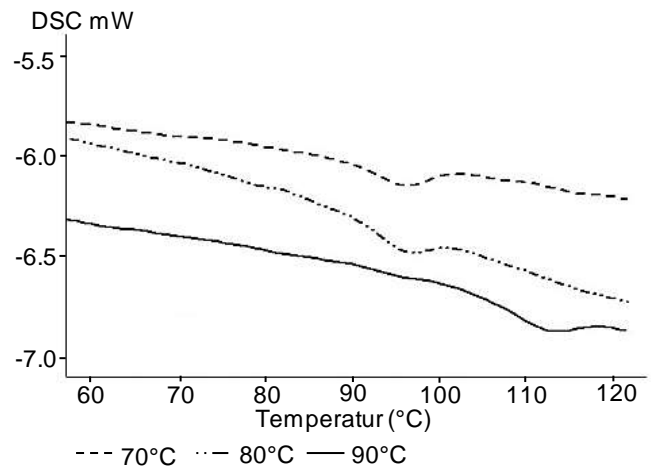
Pengaruh suhu ekstrusi dan kadar amilosa adonan terhadap derajat kristalinitas ditampilkan pada Gambar 2. Kedua faktor cenderung meningkatkan derajat kristalinitas beras analog. Namun analisis statistik (sidik ragam pada taraf uji  $P=0,05$ ) menunjukkan bahwa hanya perlakuan suhu ekstrusi yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap derajat kristalinitas beras analog yang dihasilkan. Faktor kadar amilosa adonan dan interaksi antara suhu ekstrusi-kadar amilosa adonan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap derajat kristalinitas beras analog.



Gambar 2. Grafik hubungan derajat kristalinitas (DK) dan kadar amilosa adonan pada suhu ekstrusi 70, 80, dan 90°C. Huruf yang berbeda di ujung luar kolom menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada taraf uji  $P=0,05$

Peningkatan suhu ekstrusi dari 70°C sampai 90°C telah meningkatkan derajat kristalinitas beras analog sekitar 1,4 kali (dari 7,98-11,49% menjadi 12,15-13,61%). Hal ini menunjukkan bahwa molekul

-molekul senyawa kompleks amilosa-lipid yang terbentuk tersusun semakin teratur dengan meningkatnya suhu ekstrusi. Energi dari peningkatan suhu ekstrusi dapat mendorong rekonstruksi senyawa kompleks amilosa-lipid yang tersusun secara acak menjadi lebih teratur. Hasil analisis uji lanjut DMRT pada level  $P=0,05$  menunjukkan bahwa perlakuan suhu ekstrusi 70, 80, dan 90°C menghasilkan beras analog dengan derajat kristalinitas yang berbeda nyata. Namun derajat kristalinitas beras analog pada suhu ekstrusi 70°C relatif mirip dengan pola kristalinitas pada suhu ekstrusi 80°C tetapi derajat kristalinitas keduanya berbeda cukup jauh dengan suhu ekstrusi 90°C. Cuthbert *et al.* (2012) juga membahas peningkatan derajat kristalinitas ekstrudat (hasil proses ekstrusi) akibat pembentukan senyawa kompleks amilosa-lipid tipe I dan II sebagai dampak dari peningkatan suhu proses ekstrusi. Hasil analisis DSC pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa beras analog yang diperoleh pada suhu ekstrusi 70 dan 80°C mempunyai suhu/titik leleh ( $T_m$ ) 96°C dan beras analog yang diperoleh pada suhu ekstrusi 90°C memiliki titik leleh ( $T_m$ ) 113°C. Menurut Gelders *et al.* (2004), titik leleh 96°C merupakan suhu leleh dari senyawa kompleks amilosa-lipid tipe I yang dibentuk dari reaksi amilosa rantai pendek dengan lipid (GMS).



Gambar 3. Termogram DSC beras analog dari adonan dengan kadar amilosa 16,99% dan kadar air 40% pada suhu ekstrusi 70, 80, dan 90°C. Sumber: Budi *et al.* (2015b)

Kristal senyawa kompleks amilosa-lipid tipe I terbentuk melalui pembentukan inti yang cepat pada suhu ekstrusi kurang dari atau sama dengan 80°C, yang menyebabkan helice senyawa kompleks amilosa lipid terdistribusi secara acak, sedangkan titik leleh 113°C adalah suhu leleh dari senyawa kompleks amilosa-lipid tipe II yang merupakan hasil reaksi dari amilosa rantai panjang dengan GMS. Senyawa kompleks amilosa-lipid tipe II yang tersusun dari

amilosa rantai panjang memiliki kemampuan untuk mengorganisasikan molekul membentuk struktur yang lebih teratur (Gelders *et al.*, 2004). Beras IR 64 yang menjadi kontrol mempunyai derajat kristalinitas 33,63% lebih tinggi dibanding beras analog. Kristalinitas beras IR 64 berasal dari rantai cabang-rantai cabang amilopektin yang membentuk *double helice* dan terusun sejajar dalam tumpukan yang teratur atau Kristal (Alcazar-Alay dan Meireles, 2015).

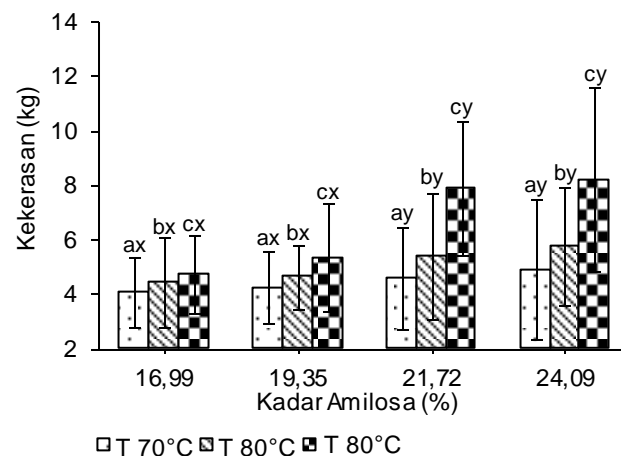
### Kekerasan beras analog

Pengaruh suhu ekstrusi dan kadar amilosa adonan terhadap kekerasan beras analog ditampilkan pada Gambar 4. Seperti derajat kristalinitas, kedua faktor cenderung meningkatkan kekerasan beras analog. Analisis statistik (uji anova pada taraf  $P=0,05$ ) memperlihatkan bahwa perlakuan suhu ekstrusi, kadar amilosa adonan, dan interaksi antara suhu ekstrusi-kadar amilosa adonan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan beras analog.

Peningkatan suhu ekstrusi dari 70°C menjadi 90°C telah meningkatkan kekerasan beras analog sekitar 1,5 kali (dari 4,06-4,91 kg menjadi 4,74-8,20 kg). Hasil uji lanjut DMRT pada level  $P=0,05$  menunjukkan bahwa kekerasan beras analog pada perlakuan suhu ekstrusi 70, 80, dan 90°C tampak berbeda nyata. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh peningkatan derajat kristalinitas beras analog. Semakin tinggi derajat kristalinitas beras analog maka semakin teratur susunan molekul senyawa kompleks amilosa-lipid sehingga gaya antar molekul menjadi semakin kuat. Terutama pada suhu ekstrusi 90°C, senyawa kompleks amilosa-lipid tipe II yang tersusun dari molekul amilosa rantai panjang terbentuk dan memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dibanding derajat kristalinitas senyawa kompleks amilosa-lipid tipe I yang terbentuk pada suhu ekstrusi kurang dari atau sama dengan 80°C dari molekul amilosa rantai pendek. Hal ini berdampak pada jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan tersebut atau untuk merusak beras analog tersebut semakin besar, yang berarti bahwa beras analog tersebut semakin keras. De Pilli *et al.* (2011) juga melaporkan bahwa kekerasan atau kekuatan ekstrudat semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu ekstrusi dari 72°C sampai 128°C. Peningkatan kekerasan beras analog akibat peningkatan suhu ekstrusi juga didukung oleh mikrostruktur beras analog dengan menggunakan SEM. Hasil foto SEM potongan melintang beras analog pada suhu ekstrusi 70°C menunjukkan bahwa ada beberapa granula pati telah mengalami pembengkakan (*swelling*) karena tergelatinisasi tetapi belum terdisintegrasikan (*break down*) sehingga masih tampak utuh (*intact*). Namun ada juga beberapa granula yang telah rusak karena tergelatinisasi dan

kemudian teretrogradasi. Beberapa *swollen granule* tampak ada yang bebas tidak berinteraksi dan ada beberapa yang menempel satu sama lain dan tidak terikat kuat (Gambar 5A). Oleh karena itu ikatan-ikatan antar partikel beras analog tersebut mudah dipatahkan dan beras menjadi rapuh atau mudah pecah. Pada suhu ekstrusi 80°C, granula-granula pati sudah tidak tampak dan telah mengalami kerusakan (*break down*). Partikel-partikel pecahan dari granula yang telah rusak tersebut belum menyatu sepenuhnya dan sedikit terikat (Gambar 5B). Ikatan antar partikel yang muncul di dalam butiran beras analog sedikit meningkatkan kekuatan beras analog. Pada suhu ekstrusi 90°C, partikel-partikel pecahan granula sudah tidak terlihat dan tampak menyatu sehingga terbentuk ikatan sempurna dan meningkatkan kekuatan butiran beras analog (Gambar 5C). Peningkatan suhu ekstrusi meningkatkan jumlah ikatan antar partikel sehingga meningkatkan kekerasan butiran beras analog.

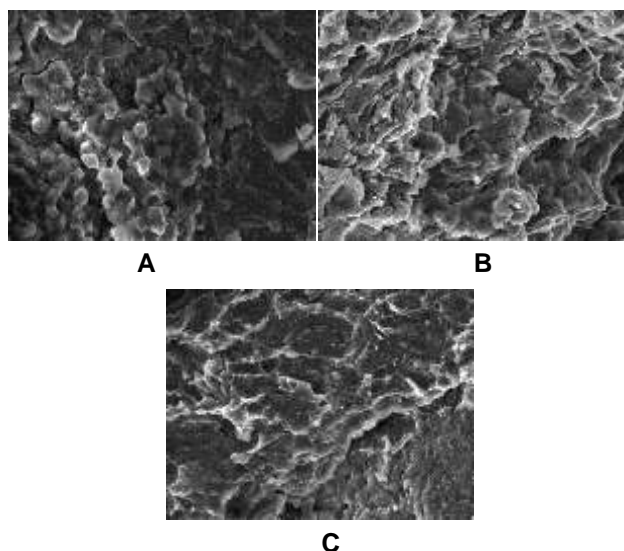
Perlakuan peningkatan kadar amilosa di dalam adonan meningkatkan kekerasan butiran beras analog sekitar 1,4 kali (dari 4,06-4,74 kg menjadi 4,91-8,20 kg). Komponen amilosa yang tidak terkonversi menjadi senyawa kompleks amilosa lipid merupakan senyawa amilosa bebas yang akan berfungsi sebagai pengikat molekul-molekul amilopektin terdegradasi atau partikel-partikel beras analog (Verma *et al.*, 2013).



Gambar 4. Grafik hubungan kekerasan beras analog dan kadar amilosa adonan pada suhu ekstrusi 70, 80, dan 90°C. Huruf yang berbeda di ujung luar kolom menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada taraf uji  $P=0,05$ . Huruf a, b, c untuk faktor suhu ekstrusi dan huruf x, y untuk faktor kadar amilosa

Peningkatan kadar amilosa akan mendorong pembentukan ikatan *network* antar molekul-molekul amilopektin terdegradasi semakin intensif sehingga akan meningkatkan kekuatan atau kekerasan beras

analog. Analisa statistik dengan menggunakan uji lanjut DMRT pada level  $P=0,05$  menunjukkan bahwa kekerasan beras analog pada kadar amilosa 16,99 dan 19,35% tidak berbeda nyata tetapi kekerasan beras analog pada kadar amilosa 19,35 dan 21,72% berbeda nyata. Kekerasaan beras analog pada kadar amilosa 21,72 dan 24,09% juga tidak berbeda nyata. Jadi, peningkatan kadar amilosa adonan dari 16,99% menjadi 19,35% tidak mampu meningkatkan kekerasan beras analog secara signifikan. Ketika kadar amilosa mencapai 21,72%, kekerasan beras analog yang dihasilkan meningkat signifikan. Singh *et al.* (2005) yang membandingkan sifat-sifat kimia fisik beras sosoh dari berbagai varietas melaporkan bahwa kadar amilosa mempunyai korelasi positif yang sangat kuat terhadap kekerasan beras sosoh (kristalin alami).

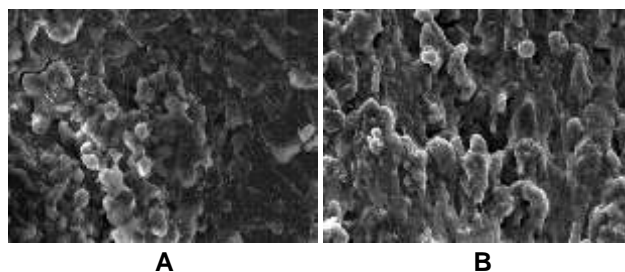


Gambar 5. Mikroskopi beras analog (potongan melintang) dengan kadar amilosa 16,99% dan suhu ekstrusi 70°C (A), 80°C (B) dan 90°C (C) pada Pengamatan SEM dengan perbesaran 750x. Sumber: Budi *et al.* (2015b)

Kadar amilosa yang tinggi dapat memberikan ikatan yang lebih banyak antar partikel-partikel dan molekul-molekul sehingga beras cenderung keras. Namun hasil yang berkebalikan diperoleh oleh Thachil *et al.* (2014) yang mengekstrusi tepung jagung dengan kadar amilosa 25% dan 45% pada suhu ekstrusi 105°C, kecepatan screw 350 rpm dan kadar air 18%. Ekstrudat jagung berkadar amilosa tinggi menunjukkan sifat kurang keras dibandingkan dengan ekstrudat jagung berkadar amilosa rendah. Jagung berkadar amilosa tinggi yang diekstrusi menghasilkan ekstrudat (tidak alami) yang lebih mengembang dan berpori sehingga ekstrudat menjadi mudah hancur (rapuh).

Kontribusi peningkatan kadar amilosa adonan terhadap kekerasan beras analog dapat juga dilihat dari mikrostruktur beras analog menggunakan SEM. Pada foto SEM beras analog dengan kadar amilosa 16,99% (Gambar 6A) menunjukkan bahwa ada beberapa granula pati telah mengalami pembengkakan (*swelling*) karena tergelatinisasi tetapi belum terdisintegrasi (*break down*) sehingga masih terlihat utuh. Namun ada juga beberapa granula yang telah rusak karena tergelatinisasi dan kemudian teretrogradasi. Beberapa *swollen granule* tampak ada yang bebas tidak berinteraksi dan ada beberapa yang menempel satu sama lain dan tidak terikat kuat. Oleh karena itu ikatan-ikatan antar partikel beras analog tersebut mudah dipatahkan dan beras menjadi rapuh.

Sementara itu pada foto SEM beras analog dengan kadar amilosa 24,09% (Gambar 6B), ada sebagian granula yang mengalami pembengkakan (*swelling*) dan belum terdisintegrasi sehingga masih terlihat. Namun ada sebagian lain granula pati telah mengalami kerusakan karena tergelatinisasi dan partikel-partikel pecahan granula tersebut terpinil dan terikat setelah teretrogradasi. Keberadaan ikatan-ikatan antar partikel ini menyebabkan peningkatan kekerasan beras analog. Pada Gambar 5B partikel-partikel pecahan granula tidak terpinil. Begitu juga pada Gambar 5C, partikel-partikel pecahan granula telah menyatu dan tidak terpinil. Pembentukan pilin/ulir tersebut muncul akibat adanya jumlah amilosa bebas yang berlebih di dalam beras analog dan menambah kekerasan beras analog. Menurut Lai dan Kokini (1991), senyawa amilosa bebas yang tidak berinteraksi dengan komponen lain membentuk senyawa baru bisa mengikat partikel-partikel dengan ikatan sekunder. Beras IR 64 yang menjadi kontrol mempunyai kekerasan 4,21 kg sama dengan kekerasan beras analog pada semua perlakuan kecuali beras analog pada perlakuan suhu ekstrusi 80°C dan kadar amilosa adonan 21,72-24,09% dan beras analog pada suhu ekstrusi 90°C dan kadar amilosa 19,35-24,09%.



Gambar 6. Mikroskopi beras analog (potongan melintang) dengan suhu ekstrusi 70°C dan kadar amilosa adonan 16,99% (A) dan 24,09% (B) pada Pengamatan SEM dengan perbesaran 750x

Derajat kristalinitas beras analog menunjukkan korelasi yang positif dengan kekerasan beras analog ( $r=0,8$ ;  $P=0,05$ ). Peningkatan derajat kristalinitas beras analog meningkatkan keteraturan susunan molekul-molekul senyawa kompleks amilosa-lipid di dalam beras analog sehingga ikatan antar molekul menjadi lebih kuat dan butiran beras analog menjadi lebih keras. Dalam penelitian ini pengukuran karakteristik kristalin dan kekerasan dilakukan berbeda waktu sehingga proses relaksasi makromolekul setelah proses ekstrusi seperti retrogradasi tidak mengindikasikan kondisi sinkron *real time* pengukuran. Pelaksanaan penelitian rancangan acak lengkap tidak dilaksanakan serentak melainkan bertahap untuk setiap perlakuan. Namun demikian, temuan yang mendukung temuan Budi *et al.* (2015a) tentang perubahan tipe kristal A menjadi V selama proses ekstrusi beras analog serta kenyataan bahwa amilosa bukan menjadi penentu derajat kristalinitas beras analog untuk bahan berbasis jagung untuk pertama kalinya dipublikasikan dalam penelitian ini.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa proses ekstrusi panas terhadap bahan berbasis jagung dapat mengubah tipe kristal A dalam matriks bahan menjadi tipe kristal V dalam matriks beras analog. Peningkatan suhu ekstrusi (dari 70°C sampai 90°C) meningkatkan derajat kristalinitas beras analog 1,4 kali (dari 7,98-11,49% menjadi 12,15-13,61%) dan kekerasan beras analog 1,5 kali (dari 4,06-4,91 kg menjadi 4,74-8,20 kg). Peningkatan kadar amilosa bahan (dari 16,99% sampai 24,09%) meningkatkan kekerasan beras analog 1,4 kali (dari 4,06-4,74 kg menjadi 4,91-8,20 kg) tetapi tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap derajat kristalinitas. Derajat kristalinitas beras analog berkorelasi positif dengan kekerasan beras analog dengan nilai koefisien korelasi  $r = 0,8$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini lewat skim Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2014 dengan nomor SPK 45/IT3.11/LT/2014.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajeigbe HA, Ihedioha D, Chikoye D. 2008. Variation in physicochemical properties of seed of selected improved varieties of Cowpea as it relates to industrial utilization of the crop. *Afr J Biotechnol* 7: 3642-3647.
- Alcazar-Alay SC, Meireles MAA. 2015. Physico-chemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Sci Technol* 35: 215-236. DOI: 10.1590/1678-457X.6749.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2009. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- Budi FS, Hariyadi P, Budijanto S, Syah D. 2013. Teknologi proses ekstrusi untuk membuat beras analog. *Pangan Media Komunikasi Informatika* 22: 263-274.
- Budi FS, Hariyadi P, Budijanto S, Syah D. 2015a. Effect of dough moisture content and extrusion temperature on degree of gelatinization and crystallinity of rice analogues. *J Dev Sus Agr* 10: 91-100. DOI: 10.11178/jdsa.10.91.
- Budi FS, Hariyadi P, Budijanto S, Syah D. 2015b. Effect of Extrusion Temperature and Moisture Content of Corn Flour on Crystallinity and Hardness of Rice Analogues. Di dalam: Hadiyanto, editor. *AIP Conference Proceeding Vol. 1699. International Conference of Chemical and Material Engineering (ICCME) 2015, Sept 29-30, Semarang, Indonesia. Semarang (ID): AIP Publishing LLC.*
- Budijanto S, Sitanggang AB, Purnomo EH, Yulianti, Widara SS, Karunia A. 2012. *Institut Pertanian Bogor. Metode Pengolahan Beras Analog. Paten Indonesia. ID P 00 2012 00463.*
- Budijanto S, Yuliyanti. 2012. Studi persiapan tepung sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) dan aplikasinya pada pembuatan beras analog. *J Teknol Pertanian* 13: 177-186.
- Cuthbert WO, Ray SS, Emmambux MN. 2012. V-amylose structural characteristic. methods of preparation, significance and potential application. *Food Rev Int* 28: 412-438. DOI: 10.1080/87559129.2012.660718.
- De Pilli T, Derossi A, Talja RA, Jouppila K, Severini C. 2011. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innov Food Sci Emerg* 12: 610-616. DOI: 10.1016/j.ifset.2011.07.011.
- Eckhoff SR, Watson SA. 2009. Corn and Sorghum starches: Production. Di dalam: BeMiller J, Whistler R. *Starch: Chemistry and Technology*. 3<sup>rd</sup> Ed. Burlington, USA, Academic Press: 373.
- Frost K, Kaminski D, Kirwan G, Lascaris E, Shanks R. 2009. Crystallinity and structure of starch using wide angle X-ray scattering. *Carbohydr*



- Polym 78: 543-548. DOI: 10.1016/j.carbpol.2009.05.018.
- Gelders GG, Vanderstukken TC, Goesart H, Delcour JA. 2004. Amylose-lipid complexation: a new fractionation method. *Carbohydr Polym* 56: 447-458. DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.03.012.
- Gragasin MA, Martinez RC. 2015. Development of corn mill for village-level of operation. *As J Appl Sci* 3: 896-904.
- Hoan NV, Mouquet-Rivier C, Treche S. 2010. Effects of starch, lipid and moisture contents on extrusion behavior and extrudate characteristics of rice-based blends prepared with a very-low-cost extruder. *J Food Process Eng* 33: 519-539. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2008.00288.x.
- Kang J, Zeng B, Tang S, Wang M, Han X, Zhou C, Yan Q, Liu J, Tan Z. 2017. Effects of *Momordica charantia* polysaccharide on in vitro ruminal fermentation and cellulolytic bacteria. *Ital J Anim Sci* 16: 1-8. DOI: 10.1080/1828051x.2017.1289825.
- Kibar EAA, Gonenc I, Us F. 2010. Gelatinization of waxy, normal and high amylose corn starch. *GIDA* 35: 237-244.
- Koide K, Fukushima T, Tomita T, Kuwata T. 1999. Meiji Milk Products, Co., Ltd. 1999 Aug 3. Fabricated Rice. US Patent. n., 5.932.271.
- Lai LS, Kokini JL. 1991. Physicochemical change and rheological properties of starch during extrusion (A review). *Biotechnol Prog* 7: 251-266. DOI: 10.1021/bp00009a009.
- Liu H, Xie F, Yu L, Chen L, Li L. 2009. Thermal processing of starch-based polymers. *Prog Polym Sci* 34: 1348-1368. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001.
- Machmur M, Dahrulsyah, Sawit MH, A, Subagyo Rachman B. 2011. Diversifikasi Pangan Solusi Tepat Membangun Ketahanan Pangan Nasional. Jakarta (ID): Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian.
- Mahmood T, Turner MA, Stoddard FL. 2007. Comparison of methods for colorimetric amylose determination in cereal grains. *Starch/Starke* 59: 357-365. DOI: 10.1002/star.2007 00612.
- Mishra A, Mishra HN, Rao PS. 2012. Preparation of rice analogues using extrusion technology. *Int J Food Sci Technol* 47: 1-9. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03035.x.
- Shih F, King J, Daigle K, An HJ, Ali R. 2007. Physicochemical properties of rice starch modified by hydrothermal treatments. *Cereal Chem J* 84: 527-531. DOI: 10.1094/cchem-84-5-0527.
- Singh N, Kaur L, Sodhi NS, Sekhon KS. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chem* 89: 253-259. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.02.032.
- Terinte N, Ibbett R, Schuster KC. 2011. Overview on native cellulose and microcrystalline cellulose I structure studied by X-ray diffraction (WAXD): Comparison between measurement techniques. *Lenzinger Berichte* 89: 118-131.
- Thachil MT, Chouksey MK, Gudipati V. 2014. Amylose-lipid complex formation during extrusion cooking: effect of added lipid type and amylose level on corn-based puffed snacks. *Int J Food Sci Technol* 49: 309-316. DOI: 10.1111/ijfs.12333.
- Verma DK, Mohan M, Asthir B. 2013. Physicochemical and cooking characteristics of some promising Basmati genotypes. *As J Food Ag-Ind* 6: 94-99.
- Wang K, Hasjim J, Wu AC, Henry RJ, Gilbert RG. 2014. Variation in amylose fine structure of starches from different botanical sources. *J Agr Food Chem* 62: 4443-4453. doi: 10.1021/jf5011676.
- Xie F, Yu L, Su B, Liu P, Wang J, Liu H, Chen L. 2009. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. *J Cereal Sci* 49: 371-377. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.002.
- Zhuang H, An H, Chen H, Xie Z, Zhao J, Xu X, Jin Z. 2010. Effect of extrusion parameters on physicochemical properties of hybrid Indica Rice (Type 9718) extrudates. *J Food Process Pres* 34: 1080-1102. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2009.00439.x.