

Karakteristik Fisik Ekstrudat dengan Perlakuan Penambahan Tepung Sagu pada *Grits* Jagung dan Suhu *Barrel*

Physical Characteristics of Extrudate with Treatment of Sago Flour Addition to Corn Grits and Barrel Temperature

Anggun Devi Yunistiana¹, Joko Nugroho Wahyu Karyadi^{1*}, Devi Yuni Susanti¹, Iftinan Aribah Rati Inayah¹, Roihan Syafiq Mufadhol¹, Ailsa Saraswati Samodra¹, Dwi Ayuni¹

¹Department of Agricultural and Biosystem Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Email*): jknugroho@ugm.ac.id

Received:

26 November 2024

Revised:

4 March 2025

Accepted:

7 March 2025

Published:

29 March 2025

DOI:

10.29303/jrpb.v13i1.1147

ISSN 2301-8119, e-ISSN

2443-1354

Available at

<http://jrpb.unram.ac.id/>

Abstract: The technology that is widely used in making snacks is extrusion. Most commercially available extruded products use corn grit as the main ingredient. Corn grits can be combined with high-starch ingredients such as sago. Sago has great potential to be developed considering that sago production in Indonesia is very high, but its use is still limited. Sago is usually only processed as traditional food, so further innovation is needed. Therefore, this research aims to examine the effect of sago composition (0%, 10%, 20%, 30%) and barrel temperature (120°C, 130°C, 140°C) on the characteristics of extrudates made from corn grit and sago starch. The extrusion process was carried out with a SYSLG-IV twin screw extruder. It was found that increasing the proportion of sago starch and barrel temperature causes an increase in the expansion ratio (3.21-3.81), WSI (2.78-11.49) and a decrease in water content (7.15-10.16), particle density (0.13-0.22), bulk density (0.07-0.11), WAI (5.94-6.6), and hardness (3.59-5.96). The best treatment based on TOPSIS analysis was the sample with a sago composition ratio of 30% and a temperature of 140°C.

Keywords: corn grits; extrusion; physical characteristics; sago flour; snack

Abstrak: Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pembuatan makanan ringan adalah ekstrusi. Sebagian besar produk ekstrusi yang tersedia secara komersial menggunakan *grits* jagung sebagai bahan utama. *Grits* jagung dapat dikombinasikan dengan bahan yang mengandung pati tinggi seperti sagu. Sagu memiliki potensi besar untuk dikembangkan mengingat produksi sagu di Indonesia sangat tinggi, namun pemanfaatannya masih terbatas. Sagu biasanya hanya diolah sebagai makanan tradisional sehingga diperlukan inovasi lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh komposisi sagu (0%, 10%, 20%, 30%) dan suhu *barrel* (120°C, 130°C, 140°C) terhadap karakteristik ekstrudat yang terbuat dari *grits* jagung dan tepung sagu. Proses ekstrusi dilakukan dengan ekstruder ulir ganda SYSLG-IV. Peningkatan proporsi tepung sagu dan suhu *barrel* menyebabkan peningkatan rasio ekspansi (3,21-3,81), WSI (2,78-11,49) dan penurunan kadar air (7,15-10,16), *particle density* (0,13-0,22), *bulk density* (0,07-0,11), WAI (5,94-6,6), dan kekerasan (3,59-5,96). Perlakuan terbaik berdasarkan analisis TOPSIS yaitu pada sampel dengan komposisi sagu 30% dan suhu 140°C.

Kata kunci: ekstrusi; *grits* jagung; karakteristik fisik; *snack*; tepung sagu

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Snack merupakan makanan pelengkap yang digemari berbagai kalangan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam pembuatan *snack* adalah ekstrusi. Ekstrusi

merupakan salah satu teknik pengolahan makanan yang menggunakan metode pencampuran, pemasakan, dan pembentukan untuk mengembangkan produk makanan ringan baru. Saat ini, teknologi pengolahan makanan ekstrusi lebih diminati dibandingkan teknologi biasa karena prosesnya yang berkesinambungan dengan kontrol otomatis, berkapasitas tinggi, serbaguna, produktivitas tinggi, dan biaya rendah (Pathak & Kochhar, 2018). Teknologi ekstrusi dapat memanfaatkan bahan-bahan pertanian, seperti sayur-sayuran, kacang-kacangan, dan biji-bijian sereal. Bahan baku yang umum digunakan untuk ekstrusi makanan adalah biji-bijian sereal yang kaya akan pati. Sebagian besar produk ekstrusi yang tersedia secara komersial menggunakan *grits* jagung sebagai bahan utama (Shevkani *et al.*, 2014). Jagung dipilih sebagai bahan utama karena terbukti dapat menghasilkan produk *snack* dengan kadar air yang rendah, serta tekstur yang renyah dan mudah mengembang (Budiman *et al.*, 2009).

Di sisi lain, tepung sagu merupakan sumber pati yang produksinya juga sangat besar di Indonesia. Indonesia memiliki sekitar 5,5 juta ha dari 6,5 juta ha areal sagu dunia, sebagian besar berada di Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, Sumatera (terutama Riau), Sulawesi, dan sebagian Kalimantan (Dewandari *et al.*, 2023). Produksi sagu di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 378.170 ton atau meningkat 2,5% dibandingkan tahun sebelumnya (Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, 2023).

Namun, potensi produksi tepung sagu yang tinggi tidak diimbangi dengan tingkat konsumsi yang tinggi pula. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa penelitian terdahulu telah melakukan inovasi terkait pengolahan sagu, salah satunya sebagai bahan pembuatan *snack* ekstrusi. Ambarwati *et al.* (2022) menggunakan pati sagu dan pati ubi banggai sebagai campuran ubi jalar dalam ekstrusi mie. Kemudian penelitian oleh Oktavianasari *et al.* (2023) menggunakan campuran tepung gembili, tepung jagung, dan pati sagu sebagai bahan baku ekstrusi beras analog.

Grit jagung sebagai bahan utama ekstrusi dapat dikombinasikan dengan tepung sagu. Kandungan karbohidrat (terutama amylopectin, 72,6%) yang tinggi dalam tepung sagu berpotensi meningkatkan rasio pengembangan dan kualitas tekstur *snack* ekstrudat (Faijah *et al.*, 2020). Namun, sagu sangat mudah mengalami gelatinisasi ekstrem pada suhu tinggi, membentuk gel yang kental dan lengket (Ansharullah *et al.*, 2020), yang berpotensi menghambat kelancaran proses ekstrusi. Sehingga, dibutuhkan rasio penambahan tepung sagu serta pengaturan suhu yang tepat, untuk mendapatkan hasil *snack* ekstrudat dengan karakter fisik dan kualitas terbaik (Nor *et al.*, 2013).

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan *grits* jagung dan tepung sagu sebagai bahan campuran dalam pembuatan *snack* ekstrudat. Secara spesifik, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi tepung sagu (0%, 10%, 20%, dan 30%) dan suhu barrel ekstruder (120°C, 130°C, dan 140°C) terhadap karakteristik fisik ekstrudat, termasuk rasio pengembangan, densitas, kekerasan, indeks absorpsi air (WAI), dan indeks kelarutan air (WSI). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kombinasi perlakuan terbaik untuk menghasilkan *snack* ekstrudat dengan kualitas fisik yang optimal.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam proses ekstrusi adalah mesin ekstruder ulir ganda skala laboratorium SYSLG-IV (Shandong Saibainuo Machinery Co., Ltd, Jinan, Tiongkok). Pencampuran bahan ekstrusi dilakukan menggunakan *mixer* Ossel B7 model OS-HLM7A. Pengambilan data menggunakan beberapa alat antara lain, ayakan Tyler, oven

laboratorium (Sanyo MOV-112, Jepang), timbangan digital (Ohaus PA4102, USA), timbangan analitik (Shimadzu AUW220, Jepang), desikator, kaliper, gelas ukur 1000 ml, blender (Miyako BL-101GS, Indonesia), *color meter* (TES 135A, Taiwan), *vortex mixer* (DLAB MX-S, China), *centrifuge* (Kokusan H-27F, Jepang), dan *texture analyzer* (Brookfield CT-3, USA).

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *grits* jagung dan tepung sagu. *Grits* jagung diperoleh dari CV. Surya Grain Indonesia (Sidoarjo, Jawa Timur). Kadar air dan ukuran partikel (d_{50}) *grits* jagung masing-masing sebesar 11,03% dan 0,41 mm. Tepung sagu dengan merk HD diperoleh dari supermarket lokal, dengan kadar air dan ukuran partikel (d_{50}) masing-masing sebesar 13,30% dan 0,15 mm.

Metode

Percobaan dilakukan dengan dua variable perlakuan, yaitu suhu ekstrusi dan komposisi bahan. Variasi suhu ekstrusi terletak pada suhu *barrel* ke-4 dan memiliki empat level, yaitu 120°C, 130°C dan 140°C. Variasi komposisi sagu yang digunakan terdiri dari tiga level, yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%. Kadar air campuran bahan dibuat tetap pada 14%, dengan mencampurkan 3,37 – 3,45 g air/100 g campuran. Jumlah ini didapatkan dari rumus keseimbangan massa antara bahan kering dan air dalam campuran, yang ditentukan berdasarkan proporsi *grits* jagung dan tepung sagu yang digunakan. Matriks rancangan percobaan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Proses ekstrusi untuk setiap perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dengan total pengambilan data sebanyak 36 kali.

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Suhu <i>Barrel</i> (T)	Komposisi Sagu (SA)			
	0%	10%	20%	30%
120 °C	SA0T120	SA10T120	SA20T120	SA30 T120
130 °C	SA0T130	SA10T130	SA20T130	SA30T130
140 °C	SA0T140	SA10T140	SA20T140	SA30T140

Persiapan bahan dilakukan dengan mencampurkan *grits* jagung, tepung sagu dan air sesuai dengan rancangan percobaan. Ekstruder diatur pada kecepatan *screw* 1200 rpm, *feeder* 900 rpm, dan *cutter* 360 rpm, untuk menghasilkan ekstrudat dengan panjang rerata 3,44 cm. Suhu *barrel* yang digunakan yaitu 40°C, 50°C, 100°C, dan *barrel* ke-4 disesuaikan dengan perlakuan (120°C, 130°C, 140°C). Ekstrudat yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan oven bersuhu 105 °C selama 3 jam.

Pengukuran Karakteristik Fisik

Kadar Air (KA)

Kadar air ekstrudat diukur menggunakan metode termogravimetri mengikuti metode Zambrano *et al.* (2022). Ekstrudat yang sudah dihaluskan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 atau hingga massanya konstan. Kadar air dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$KA (\% w. b) = \frac{m_{air}}{m_{sampel\ basah}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

m = massa (g)

Rasio Ekspansi (ER)

Rasio ekspansi diukur mengikuti metode pada Altaf *et al.* (2021). Diameter ekstrudat diukur menggunakan kaliper dengan akurasi $0,01 \pm 0,005$ cm di tiga titik sepanjang ekstrudat. Rasio ekspansi dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$ER = \frac{\text{Diameter ekstrudat (cm)}}{\text{Diameter die (cm)}} \dots\dots\dots(2)$$

Particle Density (PD) dan Bulk Density (BD)

Densitas partikel diukur mengikuti metode pada Zhu *et al.* (2010). Massa ekstrudat ditimbang menggunakan timbangan analitik kemudian panjang dan diameternya diukur menggunakan kaliper. *Particle density* dihitung menggunakan Persamaan (3) dengan mengasumsikan bentuk ekstrudat sebafei tabung. *Bulk density* ekstrudat diukur mengikuti metode pada Kantrong *et al.* (2018). Pengukuran dilakukan dengan menimbang massa ekstrudat yang mengisi gelas ukur 1000 ml. Nilai *bulk density* dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\text{Particle Density} = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{massa ekstrudat (g)}}{\text{Volume (ml)}} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

m = massa ekstrudat (g)

D = diameter ekstrudat (cm)

L = panjang ekstrudat (cm)

Water Absorption Index (WAI) dan Water Solubility Index (WSI)

Water absorption index (WAI) dan *water solubility index* (WSI) diukur menggunakan metode dalam Guzmán-Ortiz *et al.* (2015) dengan modifikasi. Sebanyak 1 g sampel yang telah digiling dan disaring menggunakan ayakan mesh 30 dimasukkan ke dalam falcon. Kemudian, 8 ml aquades ditambahkan ke dalam falcon dan dihomogenkan menggunakan *vortex mixer*. Setelah itu, sampel disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 3000×g. Massa sedimen yang tersisa ditimbang dan digunakan dalam perhitungan WAI (Persamaan (5)). Supernatan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 105°C untuk memperoleh massa padatan terlarut dan digunakan dalam perhitungan WSI (Persamaan (6)).

$$WAI = \frac{\text{massa sedimen basah}}{\text{massa sampel kering}} \dots\dots\dots(5)$$

$$WSI = \frac{\text{massa padatan terlarut dalam supernatan}}{\text{massa sampel kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Kekerasan (H)

Kekerasan ekstrudat diukur menggunakan *texture analyzer*. Sampel letakkan di atas *sample tray* dengan posisi horizontal. Alat diatur dengan kecepatan *pretest* 2 mm/s, kecepatan *test* 1 mm/s, kecepatan *return* 1 mm/s dengan jarak target kedalaman probe 7 mm dari permukaan bahan. Probe yang digunakan adalah probe silinder TA-39 dengan diameter 2 mm dan panjang 20 mm. Nilai kekerasan dihitung menggunakan Persamaan (7).

$$H = \frac{\text{load (g)}}{1000} \times \frac{9,81 \frac{m}{s^2}}{\text{luas permukaan probe (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots(7)$$

Visual Pori Ekstrudat

Struktur pori yang terbentuk di dalam ekstrudat diamati dengan cara memotong ekstrudat secara melintang menggunakan pisau dan diampelas untuk meratakan permukaannya. Kemudian, potongan tersebut difoto dan diamati.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dua arah untuk mengetahui pengaruh suhu *barrel* dan komposisi bahan serta interaksinya terhadap karakteristik fisik ekstrudat. Analisis ANOVA dilakukan menggunakan IBM SPSS 27. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) juga digunakan untuk menentukan perlakuan dengan preferensi terbaik. Analisis TOPSIS dilakukan menggunakan Microsoft Excel. Tabel 2 menunjukkan rincian atribut yang digunakan pada analisis TOPSIS.

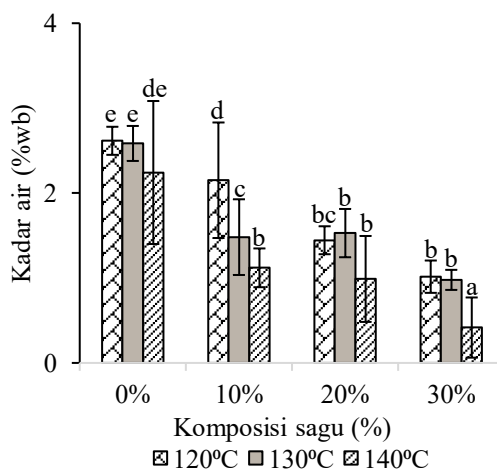
Tabel 2. Atribut Pengujian TOPSIS

Parameter	Bobot	Keterangan
Rasio ekspansi	0,2	<i>Benefit</i>
<i>Particle density</i>	0,2	<i>Cost</i>
<i>Bulk density</i>	0,15	<i>Cost</i>
Kadar air	0,15	<i>Cost</i>
WAI	0,05	<i>Benefit</i>
WSI	0,05	<i>Benefit</i>
Kekerasan	0,2	<i>Cost</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air (KA)

Kadar air merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas ekstrudat karena berkaitan dengan sifat fisik lainnya, terutama tekstur. Hasil pengukuran kadar air ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan uji statistik yang dilakukan, diketahui bahwa komposisi bahan dan suhu *barrel* memiliki pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap kadar air ekstrudat.



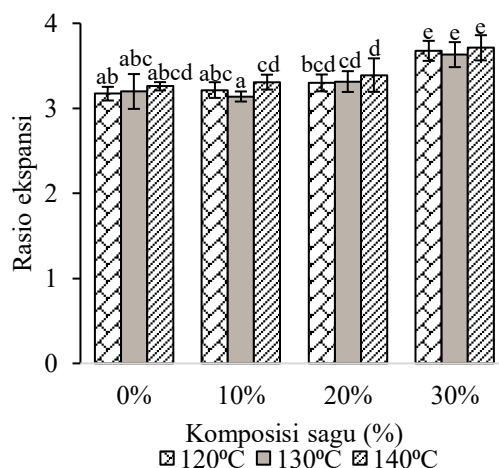
Gambar 1. Kadar air ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu *barrel*

Kadar air ekstrudat berkisar antara 0,42% hingga 2,62%. Menurut Utari *et al.* (2016), puncak penguapan air terjadi saat material keluar dari *die* ekstruder. Penguapan ini mengakibatkan terbentuknya struktur ekstrudat yang berpori. Berdasarkan Gambar 1, ekstrudat yang diproses pada suhu 140 °C memiliki KA paling rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yusuf *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa suhu *barrel* berpengaruh nyata terhadap kadar air ekstrudat. Peningkatan suhu *barrel* akan meningkatkan penguapan air sehingga kadar air ekstrudat menurun. Pada penelitian tersebut, peningkatan suhu dari 90 °C ke 110 °C mengakibatkan kadar air menurun dari 6,09% menjadi 5,84%.

Selanjutnya, peningkatan komposisi sagu mengakibatkan KA ekstrudat semakin menurun. Hal ini mungkin disebabkan oleh kandungan pati berupa amilopektin pada campuran bahan yang dapat memacu proses *blooming* (*puffing*) sehingga produk lebih mudah kehilangan air saat dipanaskan (Nurilmala *et al.*, 2014). Secara umum, kandungan karbohidrat pada sagu diketahui lebih besar daripada kandungan karbohidrat pada *grits* jagung (Ernawati *et al.*, 2018). Oleh karena itu, semakin banyak tepung sagu yang ditambahkan, semakin banyak kandungan karbohidrat (dalam kasus ini amilopektin) pada campuran bahan, maka kadar air ekstrudat akan semakin rendah. Selain itu, ukuran partikel sagu yang lebih halus dibandingkan dengan *grits* jagung juga menyebabkan bahan tersebut lebih mudah kehilangan air. Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel terhadap penurunan kadar air ekstrudat telah dilakukan oleh Sharifi *et al.* (2021). Pada penelitian tersebut, ukuran partikel jagung yang lebih besar (212-1070 μm) menyebabkan peningkatan kadar air akhir ekstrudat dari 4,61% hingga 5,88%.

Rasio Ekspansi (ER)

Rasio ekspansi ekstrudat dengan perlakuan komposisi bahan dan suhu *barrel* ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan uji statistik yang dilakukan, ditemukan bahwa komposisi bahan dan suhu *barrel* memiliki pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap rasio ekspansi ekstrudat. Rasio ekspansi ekstrudat diperoleh sebesar 3,14 hingga 3,71.



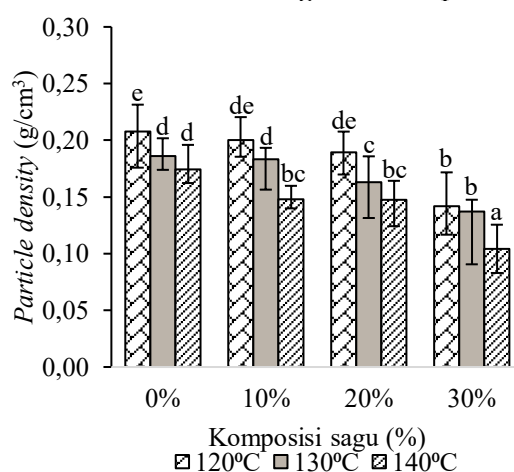
Gambar 2. Rasio ekspansi ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu *barrel*

Berdasarkan Gambar 2, rasio ekspansi tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan rasio penambahan sagu 30%, dan suhu *barrel* 140 °C. Terlihat bahwa peningkatan komposisi sagu mengakibatkan peningkatan rasio ekspansi ekstrudat. Rasio ekspansi merupakan parameter penting pada produk ekstrusi karena menunjukkan kemampuan mengembang. Semakin tinggi kadar pati maka ekstrudat yang dihasilkan semakin mengembang, ditunjukkan oleh nilai rasio ekspansi yang semakin tinggi. Peningkatan rasio ekspansi berkaitan dengan proses gelatinisasi. Gelatinisasi merupakan proses pembengkakan akibat rusaknya ikatan hidrogen intramolekul yang menyebabkan melemahnya struktur granula pati (Islamiyah, 2009). Semakin banyak sagu yang digunakan maka kadar pati semakin tinggi sehingga derajat gelatinisasi semakin meningkat, menyebabkan ekstrudat bersifat ringan, berpori, renyah dan mudah patah (*crunchy*) (Nurilmala *et al.*, 2014). Peningkatan ER akibat penambahan sagu juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul Alam *et al.* (2018). Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa penambahan pati sagu sebesar 20% pada tepung beras dengan kadar air 10% dapat meningkatkan rasio ekspansi dari $2,01 \pm 0,07$ menjadi $2,12 \pm 0,08$ dengan peningkatan sebesar 5,47%.

Selain faktor komposisi bahan, rasio ekspansi juga dipengaruhi oleh suhu *barrel* ekstruder. Menurut Pakpahan dan Nelinda (2019), peningkatan suhu mempercepat gelatinisasi dan membuat struktur pati lebih fleksibel untuk menahan tekanan uap selama proses ekstrusi. Dengan begitu, gel yang dihasilkan pada suhu tinggi memiliki kemampuan mengembang lebih besar. Peningkatan rasio ekspansi seiring dengan peningkatan suhu juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Alam *et al.* (2016) dengan ekstrudat berbasis beras, tepung kedelai yang sudah dihilangkan lemaknya, dan sisa potongan wortel dan bunga kol menggunakan *twin screw extruder*. Rentang rasio ekspansi yang diperoleh pada penelitian tersebut antara 0,56 - 1,31.

Particle Density (PD) dan Bulk Density (BD)

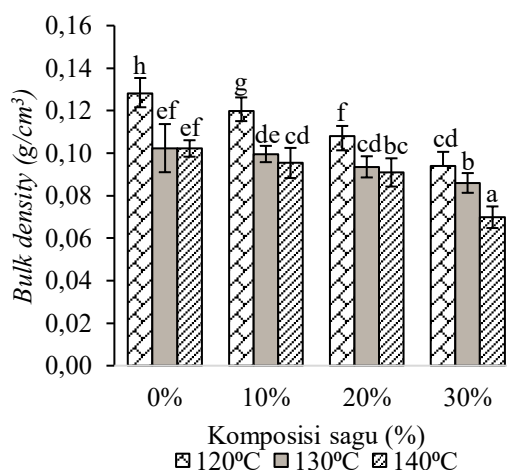
Densitas partikel ekstrudat dengan perlakuan komposisi sagu dan suhu *barrel* disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan uji statistik diketahui bahwa, sama seperti perubahan kadar air, komposisi sagu dan suhu *barrel* memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0,05$) terhadap *particle density* ekstrudat. Nilai PD ekstrudat antara 0,10 g/cm³ sampai dengan 0,21 g/cm³.



Gambar 3. *Particle density* ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu *barrel*

Nilai densitas partikel tertinggi diperoleh pada suhu 120 °C sedangkan nilai terendah pada suhu 140 °C. Hal ini mungkin disebabkan oleh meningkatnya kecepatan gelatinisasi pada suhu yang lebih tinggi. Menurut Pudjihastuti *et al.* (2021), peningkatan suhu dapat meningkatkan kecepatan gelatinisasi sehingga terjadi penurunan berat molekul baik pada amilosa maupun amilopektin. Penurunan tersebut akan meningkat apabila molekul amilopektin semakin besar. Penurunan berat molekul menyebabkan nilai densitas ekstrudat juga menurun. Pada Gambar 3 terlihat bahwa PD semakin menurun seiring dengan penambahan sagu. Hal ini sesuai dengan penelitian Pakpahan dan Nelinda (2019) tentang pengaruh komposisi dan pengolahan terhadap ekstrusi kerupuk. Pada penelitian tersebut terjadi penurunan densitas seiring dengan peningkatan derajat gelatinisasi pati. Menurut Tongdang *et al.* (2008), peningkatan derajat gelatinisasi hingga 65% menyebabkan peningkatan volume dan penurunan densitas ekstrudat.

Bulk density ekstrudat dengan perlakuan komposisi sagu dan suhu *barrel* dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan analisis ANOVA diketahui bahwa nilai BD ekstrudat dipengaruhi secara signifikan oleh komposisi sagu, suhu *barrel*, dan interaksi keduanya ($p < 0,05$). Nilai BD ekstrudat adalah 0,07 g/cm³ hingga 0,13 g/cm³.

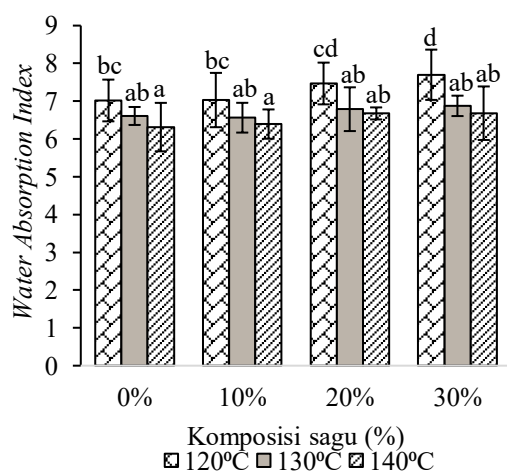


Gambar 4. Bulk density ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu barrel

Berdasarkan Gambar 4, nilai *bulk density* cenderung memiliki tren yang sama dengan *particle density*. Peningkatan suhu ekstrusi menyebabkan nilai densitas menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Hakim *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa penggunaan suhu ekstrusi 80 °C hingga 120 °C mengakibatkan penurunan densitas dari 0,674 mg/mm³ menjadi 0,497 mg/mm³. Penurunan densitas terjadi karena suhu barrel yang tinggi menyebabkan viskositas senyawa pati yang meleleh menjadi rendah sehingga material yang keluar dari *die* lebih mudah memuai. Komposisi sagu memiliki pengaruh negatif terhadap BD. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya peningkatan gelatinisasi pati. Proses gelatinisasi yang optimal mengakibatkan ekstrudat dari *die* mampu memuai secara optimal dan memiliki struktur berpori sehingga densitasnya rendah (Ding *et al.*, 2005).

Water Absorption Index (WAI) dan Water Solubility Index (WSI)

Pengukuran *water absorption index* (WAI) dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang dapat diserap oleh suatu material (Ajita & Jha, 2017). Pengaruh komposisi bahan dan suhu barrel pada nilai WAI ekstrudat dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai WAI dari ekstrudat berkisar antara 6,31 dan 7,70. WAI ekstrudat dipengaruhi secara signifikan oleh komposisi bahan dan suhu barrel ($p < 0,05$).



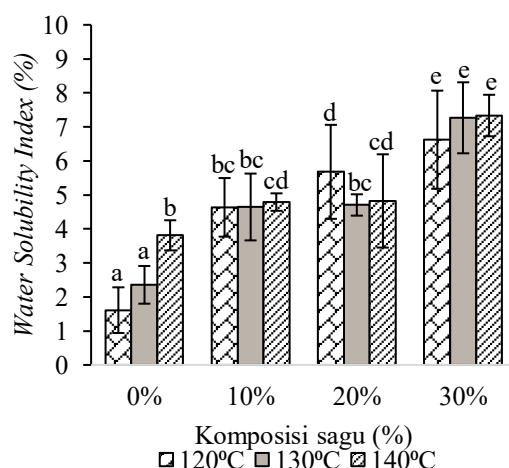
Gambar 5. Water Absorption Index (WAI) ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu barrel

Berdasarkan Gambar 5, didapatkan hasil bahwa nilai WAI ekstrudat berkisar antara 6.5 – 7.5. Hal ini berarti bahwa ekstrudat memiliki kapasitas penyerapan air sekitar 7 kali lebih besar daripada massa kering ekstrudat tersebut. Semakin banyak sagu yang digunakan,

semakin tinggi WAI ekstrudat. Nilai WAI dipengaruhi oleh proses gelatinisasi dan dektrinisasi pati selama proses ekstrusi (Budijanto & Yuliyanti, 2012). Hal tersebut dapat disebabkan oleh kandungan amilopektin pada bahan. Sagu mengandung 73% amilopektin (Rahardjo, 2019), lebih tinggi dari amilopektin jagung yaitu 70% (Mani & Bhattacharya, 1998). Amilopektin memiliki struktur bercabang (Lalujan *et al.*, 2017) sehingga dapat menyerap air lebih mudah dibandingkan dengan amilosa. Amilopektin memainkan peran penting dalam gelatinisasi pati dengan meningkatkan viskositas lelehan bahan (Vanier *et al.*, 2018). Viskositas lelehan yang tinggi dapat menyerap banyak air sehingga WAI ekstrudat meningkat. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Seth *et al.* (2015) mengenai efek penambahan tepung ubi pada ekstrudat berbasis tepung jagung. Penambahan 40% tepung ubi pada tepung jagung dapat meningkatkan nilai WAI dari 5,32 menjadi 6,10.

Peningkatan suhu *barrel* menyebabkan adanya penurunan WAI ekstrudat. Menurut Pakpahan dan Nelinda (2019), bahan yang diekstrusi pada suhu yang lebih tinggi atau waktu yang lebih lama menghasilkan indeks kelarutan yang lebih tinggi dan WAI yang lebih rendah. Penurunan WAI mengindikasikan adanya degradasi pati dan dekstinisasi yang lebih mendominasi daripada gelatinisasi pati (Singh *et al.*, 2015).

Hasil pengujian *water solubility index* (WSI) ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan uji statistik, diketahui bahwa nilai WSI ekstrudat secara signifikan ($p < 0,05$) dipengaruhi oleh komposisi sagu, suhu *barrel*, dan interaksi keduanya. Nilai WSI memiliki rentang antara 1,61% hingga 7,33%.

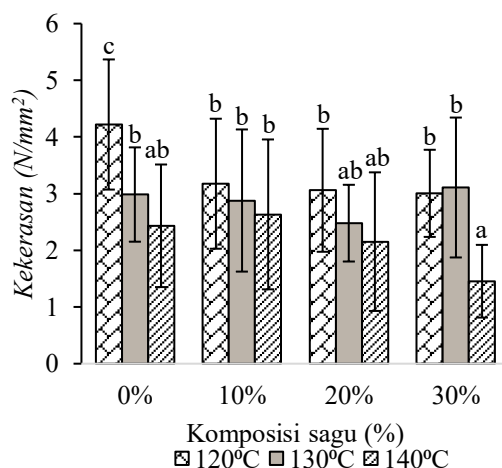


Gambar 6. *Water solubility index* (WSI) ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu *barrel*

Berdasarkan Gambar 6, penambahan sagu mengakibatkan nilai WSI meningkat. Parameter suhu *barrel* juga menunjukkan korelasi positif dengan nilai WSI. Menurut Minweyelet *et al.* (2021), nilai WSI bergantung pada kandungan pati dan lemak, struktur kristal pati, dan ukuran partikel. Peningkatan nilai WSI akibat penambahan sagu terjadi karena kandungan pati yang semakin tinggi. Peningkatan WSI karena peningkatan suhu *barrel* disebabkan oleh depolimerisasi pati sehingga mengurangi berat molekul rantai amilosa dan amilopektin (Pelembe *et al.*, 2002). Peningkatan suhu mengakibatkan meningkatnya pelepasan komponen larut sehingga kerusakan pati lebih tinggi.

Kekerasan

Tekstur merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh pada penerimaan konsumen terhadap suatu produk. Hasil pengukuran kekerasan ekstrudat dengan perlakuan komposisi bahan dan suhu *barrel* ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan uji statistik, diketahui bahwa suhu *barrel* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan ekstrudat ($p < 0,05$). Nilai kekerasan ekstrudat berada antara 1,46 N/mm² hingga 4,22 N/mm².



Gambar 7. Nilai kekerasan ekstrudat berdasarkan komposisi bahan dan suhu *barrel*

Kekerasan ekstrudat cenderung menurun dengan penambahan tepung sagu. Penurunan nilai kekerasan mungkin terjadi karena kandungan pati pada bahan yang semakin tinggi. Kandungan amilosa dan amilopektin pada pati dapat mempengaruhi tingkat kekerasan. Tepung sagu memiliki kandungan amilopektin yang tinggi sebesar 73% (Rahardjo, 2019). Semakin banyak amilopektin dalam bahan maka semakin tinggi penyerapan air sehingga proses gelatinisasi meningkat. Gelatinisasi yang sempurna dapat mengoptimalkan pengembangan ekstrudat, menurunkan kekerasan, dan meningkatkan kerenyahan. Hal tersebut sesuai dengan penelitian oleh Utami dan Widyaningsih (2015) yang menemukan peningkatan kekerasan (0,6-3,5) seiring penurunan pati karena berkurangnya proporsi ubi jalar yang digunakan (90%-70%).

Pada Gambar 7 juga dapat dilihat bahwa nilai kekerasan ekstrudat cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu *barrel*. Pada proses ekstrusi, molekul air akan menembus ke dalam granula dan terperangkap amilosa dan amilopektin. Peningkatan suhu ekstrusi menyebabkan ekspansi granula meningkat karena ikatan hidrogen melemah. Dengan begitu, ekstrudat akan semakin mengembang dan menghasilkan kekerasan yang rendah (Nurilmala *et al.*, 2014). Hal serupa juga diungkapkan oleh Gat & Ananthanarayan (2015), yang menemukan bahwa peningkatan suhu ekstruder (80–120 °C) dapat mengurangi kekerasan (39,82 – 37,9 N) pada ekstrudat berbahan tepung beras pregelatinisasi.

Visual Pori Ekstrudat

Proses ekstrusi menyebabkan terbentuknya gelembung di dalam ekstrudat yang menyebabkan adanya ekspansi. Penampang melintang ekstrudat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penampang melintang ekstrudat

Komposisi Sagu (SA)	Suhu Barrel (T)		
	120 °C	130 °C	140 °C
0%	2,094 cm 	2,429 cm 	2,452 cm

Komposisi Sagu (SA)	Suhu Barrel (T)		
	120 °C	130 °C	140 °C
10%	2,210 cm 	2,304 cm 	2,547 cm 
20%	2,391 cm 	2,515 cm 	2,566 cm 
30%	2,473 cm 	2,525 cm 	2,807 cm 

Penentuan Hasil Terbaik

Kriteria ekstrudat yang diinginkan adalah ekstrudat dengan rasio ekspansi dan WSI yang tinggi, serta kadar air, *particle density*, *bulk density*, WAI dan kekerasan rendah. Berdasarkan analisis TOPSIS (Tabel 4), kombinasi perlakuan yang menghasilkan ekstrudat dengan preferensi terbaik yaitu pada komposisi sagu 30% dengan suhu *barrel* 140 °C (SA30T140).

Tabel 4. Analisis TOPSIS pada Ekstrudat

Sampel	Overall preference score	Rank
SA0T120	0,058	12
SA0T130	0,177	10
SA0T140	0,261	8
SA10T120	0,171	11
SA10T130	0,251	9
SA10T140	0,357	6
SA20T120	0,305	7
SA20T130	0,448	5
SA20T140	0,588	2
SA30T120	0,482	4
SA30T130	0,511	3
SA30T140	0,939	1

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa komposisi bahan dan suhu *barrel* berpengaruh secara signifikan terhadap kadar air, rasio ekspansi, *particle density*,

bulk density, WAI, WSI, dan kekerasan. Peningkatan komposisi tepung sagu mengakibatkan kenaikan ER, WAI, dan WSI, serta penurunan KA, PD, dan BD. Peningkatan suhu *barrel* mengakibatkan kenaikan ER, dan WSI, serta penurunan KA, PD, BD, dan kekerasan. Perlakuan yang memiliki preferensi terbaik diperoleh pada sampel dengan komposisi sagu 30% pada suhu 140 °C (SA30T140).

Saran

Penelitian dapat dilakukan dengan meningkatkan komposisi tepung sagu untuk untuk mengetahui batas rasio ekspansi yang dapat dicapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Pangan dan Pascapanen, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM karena telah memberikan dukungan sarana selama penelitian.

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

CONFLICT OF INTEREST

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak mana pun.

DAFTAR REFERENSI

- Abdul Alam, N. A., Karim, R., & Muhammad, K. (2018). Effect of sago and tapioca starches on the physicochemical and textural properties of expanded rice product coloured with red beetroot (*Beta vulgaris*) powder. *International Food Research Journal*, 25(1), 21–27.
- Ajita, T., & Jha, S. K. (2017). Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks - An overview. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016). *Extrusion and Extruded Products : Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters : A Review Extrusion and Extruded Products : Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters : A Review*. 8398. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Altaf, U., Hussain, S. Z., Qadri, T., Iftikhar, F., Naseer, B., & Rather, A. H. (2021). Investigation on mild extrusion cooking for development of snacks using rice and chickpea flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04628-7>
- Ambarwati, K., Syamsir, E., & Yasni, S. (2022). Karakteristik Mi Berbasis Ubi Jalar dengan Substitusi Pati Sagu atau Pati Ubi Banggai. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 33(1), 11–20. <https://doi.org/10.6066/jtip.2022.33.1.11>
- Ansharullah, A., Wahyuni, S., Tamrin, ., & Natsir, M. (2020). Response Surface Method in Evaluating the Extrusion Effects on Molecular Degradation and Physical Properties of Sago Starch. *Journal of Scientific Research and Reports*, 26(8), 1–10. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2020/v26i830292>
- Budijanto, S., & Yuliyanti. (2012). Study of Preparation Sorghum Flour and Application for Analogues Rice Production Slamet. *Jurnal Teknologi Pertanian Vol.*, 13(3), 177–186.
- Budiman, Wulandari, Z., & Suryati, T. (2009). Suplementasi Tepung Putih Telur untuk Memperbaiki Nilai Nutrisi Snack Ekstrusi Berbahan Grits Jagung. *Media Peternakan*, 32(3), 179–184.
- Dewandari, K. T., Mulyawanti, I., & Iriani, E. S. (2023). Strategi Peningkatan Pemanfaatan Tepung Sagu Terstandar Pada Industri Mi. *Warta BSIP Perkebunan*, 1(3), 8–15.

- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian. (2023). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Ernawati, E., Heliawaty, & Diansari, P. (2018). Peranan makanan tradisional berbahan sagu sebagai alternatif dalam pemenuhan gizi masyarakat: Kasus Desa Laba, Kecamatan Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 14(1), 31–40.
- Faijah, Fadilah, Rt., & Nurmila (2020). Perbandingan tepung tapioka dan sagu pada pembuatan briket kulit buah nipah (*Nypafruticans*). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6(2), 201–210.
- Gat, Y., & Ananthanarayan, L. (2015). Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical properties of ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2634–2645. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1378-7>
- Guzmán-ortiz, F. A., Hernández-sánchez, H., Yee-madeira, H., Martín-martínez, E. S., Robles-ramírez, M. C., Rojas-lópez, M., Berríos, J. D. J., & Mora-escobedo, R. (2015). *Physico-chemical, nutritional and infrared spectroscopy evaluation of an optimized soybean / corn flour extrudate*. 52(July), 4066–4077. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1485-5>
- Hakim, A. R., Handoyo, W. T., Novianto, T. D., & Prasetyo, A. W. (2019). Effects of Twin-Screw Extruders Condition to Physical Properties of Floating Fish Feed. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 21(2), 79. <https://doi.org/10.22146/jfs.44821>
- Islamiyah, S. S. (2009). *SIFAT FISIK DAN SENSORI SNACK EKSTRUSI DENGAN PENAMBAHAN TEPUNG DAGING-TULANG LEHER AYAM PEDAGING (TDTLA)*. INSTITUT PERTANIAN BOGOR.
- Kantrong, H., Charunuch, C., & Limsangouan, N. (2018). Influence of process parameters on physical properties and specific mechanical energy of healthy mushroom-rice snacks and optimization of extrusion process parameters using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3462–3472. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3271-2>
- Lalujan, L. E., Djarkasi, G. S. S., Tuju, T. J. N., Rawung, D., Sumual, M. F., Ilmu, P., Pangan, T., Teknologi, J., Fakultas Pertanian, P., Sam, U., & Manado, R. (2017). Komposisi Kimia Dan Gizi Jagung Lokal Varietas “Manado Kuning” Sebagai Bahan Pangan Pengganti Beras. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(1), 47–54.
- Mani, R., & Bhattacharya, M. (1998). Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends - III. Effect of amylopectin to amylose ratio in starch. *European Polymer Journal*, 34(10), 1467–1475.
- Minweyelet, M., Solomon, W. K., & Bultosa, G. (2021). Effects of extrusion operating conditions and blend proportion on the physico-chemical and sensory properties of teff-rice blend extruded products. *Food Research*, 5(2), 173–183. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(2\).467](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(2).467)
- Nor, N. M., Carr, A., Hardacre, A., & Brennan, C. S. (2013). The development of expanded snack product made from pumpkin flour-corn grits: Effect of extrusion conditions and formulations on physical characteristics and microstructure. *Foods*, 2(2), 160–169. <https://doi.org/10.3390/foods2020160>
- Nurilmala, M., Suptijah, P., Subagja, Y., & Hidayat, T. (2014). Utilization and Fortification of Patin Fish on Extrusion Snack. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(2), 175–185. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v17i2.8721>

- Pakpahan, N., & Nelinda. (2019). Studi Karakteristik Kerupuk: Pengaruh Komposisi dan Proses Pengolahan. *Teknologi Pengolahan Pertanian*, 1(1), 28–38.
- Pathak, N., & Kochhar, A. (2018). Extrusion Technology: Solution to Develop Quality Snacks for Malnourished Generation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 1293–1307. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.158>
- Pelembe, L. A. M., Erasmus, C., & Taylor, J. R. N. (2002). Development of a protein-rich composite sorghum - Cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *Lwt*, 35(2), 120–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0812>
- Pudjihastuti, I., Supriyo, E., & Devara, H. R. (2021). Pengaruh Rasio Bahan Baku Tepung Komposit (Ubi Kayu, Jagung Dan Kedelai Hitam) Pada Kualitas Pembuatan Beras Analog. *Gema Teknologi*, 21(2), 61–66. <https://doi.org/10.14710/gt.v21i2.32923>
- Oktavianasari, R., Damat, D., & Manshur, H. A. (2023). Kajian Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Beras Analog Berbahan Dasar Tepung Gembili (*Dioscorea aculleata* L), Tepung Jagung (*Zea mays*, L) dan Pati Sagu (*Metroxylon* sp). *Food Technology and Halal Science Journal*, 5(2), 125–136. <https://doi.org/10.22219/fths.v5i2.21911>
- Rahardjo, E. M. W. B. (2019). *Physico-Chemical and Sensory Characteristics of Dried Noodles With Substitution of Composite Flour (Sago and Banana “Kepok” Flour)*. UNIKA SOEGIJAPRANATA SEMARANG.
- Seth, D., Badwaik, L. S., & Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830–1838. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Sharifi, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Effects of particle size and moisture content of maize grits on physical properties of expanded snacks. *Journal of Texture Studies*, 52(1), 110–123. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12565>
- Shevkani, K., Kaur, A., Singh, G., Singh, B., & Singh, N. (2014). Composition, Rheological and Extrusion Behaviour of Fractions Produced by Three Successive Reduction Dry Milling of Corn. *Food and Bioprocess Technology*, 7(5), 1414–1423. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1194-5>
- Singh, B., Rachna, Hussain, S. Z., & Sharma, S. (2015). Response Surface Analysis and Process Optimization of Twin Screw Extrusion Cooking of Potato-Based Snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), 270–281. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12230>
- Tongdang, T., Meenun, M., & Chainui, J. (2008). Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava cracker (Keropok). *Starch-Stärke*, 60(10), 568–576.
- Utami, D., & Widyaningsih, T. D. (2015). Pengembangan snack ekstrudat berbasis ubi jalar oranye tersubstitusi tempe kacang tunggak sebagai sumber protein. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri Vol.*, 3(2), 620–630.
- Utari, K. S. T., Dewi, E. N., & Romadhon. (2016). Physicochemical Characteristics of Extruded Fish-Snack Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with Grit of Large- leafed Mangrove (*Bruguiera gymnorrhiza*) Addition. *J. Peng. & Biotek. Hasil Pi.*, 5(4), 33–42.
- Vanier, N. L., dos Santos, J. P., Villanova, F. A., Colussi, R., Elias, M. C., Pan, J., & Berrios, J. D. J. (2018). Effects of rice amylose content and processing conditions on the quality of rice and bean-based expanded extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13758>
- Yusuf, M., Halilu, M., & Filli, K. (2018). Influence of Extrusion Variables on Proximate Composition Some Nutrient and Antinutrient Contents of Dakuwa Extrudates Produced from Blends of Sorghum (*Sorghum bicolor* L) Groundnut (*Arachis hypogea* L) and Tigernut (*Cyperus esculentus*). *Current Journal of Applied Science and Technology*, 26(4), 1–20. <https://doi.org/10.9734/cjast/2018/40037>

- Zambrano, Y., Contardo, I., & Bouchon, P. (2022). *Effect of Extrusion Temperature and Feed Moisture Content on the Microstructural Properties of Rice-Flour Pellets and Their Impact on the Expanded Product*.
- Zhu, L., Shukri, R., Mesa-stonestreet, N. J. De, & Alavi, S. (2010). Mechanical and microstructural properties of soy protein – high amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.004>