

Pengaruh Penambahan Tepung Kacang Merah pada Grit Jagung dan Suhu Barrel Terhadap Sifat Fisik Ekstrudat

Effect of Red Bean Flour Addition to Corn Grit and Barrel Temperature on Physical Properties of Extrudate

Dian Kharisma Rahmawati¹, Joko Nugroho Wahyu Karyadi^{1*}, Devi Yuni Susanti¹, Ailsa Saraswati¹, Riski Sri Mahanani¹, Vincentius Ferry¹, Prasetya Febriansyech¹

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

Received:
5 December 2023

Revised:
12 February 2024

Accepted:
6 March 2024

Published:
27 March 2024

DOI:
10.29303/jrpb.v12i1.592

ISSN 2301-8119, e-ISSN
2443-1354

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

Abstract: Corn is widely processed into the main ingredient in making snacks but has a low protein content. Therefore, it is necessary to add protein in the form of beans, especially red beans. The physical characteristics of extrudate as a result of extrusion processing can be determined by material composition and barrel temperature factors. This study aims to determine the effect of material composition treatment and barrel temperature on the physical properties of extrudate made from corn grit and red bean flour. There are three levels of red bean addition, namely, 10%, 20%, and 30% with variations of temperature 120°C, 130°C, and 140°C. Physical quality parameters measured in the form of moisture content, expansion ratio, bulk density, particle density, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), and hardness. The extrudate produced is in accordance with SNI with a moisture content of < 4%. An increase in barrel temperature affects the increase in expansion ratio and decrease in moisture content, bulk density, particle density, WAI, WSI, and hardness. The addition of red bean flour caused an increase in moisture content, bulk density, particle density, hardness, and WSI and decrease in the expansion ratio and WAI.

Keywords: corn grit; extruder; physical properties; red bean flour

Abstrak: Jagung banyak diolah menjadi bahan utama pembuatan makanan ringan namun memiliki kandungan protein yang rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan protein berupa kacang-kacangan terutama kacang merah. Karakteristik fisik ekstrudat dari proses ekstrusi dapat ditentukan oleh faktor komposisi bahan dan suhu ekstruder. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan rasio komposisi bahan dan suhu ekstruder terhadap sifat fisik ekstrudat berbahan dasar grit jagung dan tepung kacang merah. Terdapat tiga level penambahan kacang merah, yaitu 10%, 20%, dan 30% dengan variasi temperatur 120°C, 130°C, dan 140°C. Parameter kualitas fisik yang diukur berupa kadar air, rasio ekspansi, densitas curah, densitas partikel, *water absorption index* (WAI), *water solubility index* (WSI), dan kekerasan. Ekstrudat yang dihasilkan sesuai dengan SNI dengan kadar air < 4%. Peningkatan suhu ekstruder berpengaruh terhadap peningkatan rasio ekspansi dan penurunan kadar air, densitas curah, densitas partikel, WAI, WSI, dan kekerasan. Penambahan tepung kacang merah menyebabkan peningkatan kadar air, densitas curah, densitas partikel, kekerasan, dan WSI serta penurunan rasio ekspansi dan WAI.

Kata kunci: grit jagung; ekstruder; sifat fisik; tepung kacang merah

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Konsumsi makanan ringan terutama makanan ringan siap saji atau *ready to eat* cukup tinggi. Berdasarkan data dari Mondelez et al., (2021), sebanyak 64% konsumen memilih makanan ringan sebagai konsumen sehari-hari. Selain itu, saat ini masyarakat mulai menyadari pentingnya hidup sehat, sehingga sebanyak 84% konsumen menginginkan makanan ringan dengan kandungan nutrisi yang baik (Mondelez International, 2022).

Ekstrusi merupakan teknologi yang banyak digunakan dalam pembuatan makanan ringan. Selama proses ekstrusi, bahan pangan ditekan dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi hingga keluar melalui cetakan atau lubang (Prabha et al., 2021). Proses ini menyebabkan perubahan fisik produk ekstrudat (Yagci & Gogus, 2012).

Ekstrudat pada umumnya terbuat dari bahan yang mengandung pati tinggi seperti jagung karena menghasilkan ekstrudat yang dapat mengembang dengan baik (Moscicki & Wojtowicz, 2011). Jagung mengandung 71,88 g karbohidrat; 8,84 g protein; dan 4,57 g lemak per 100 gramnya (Rouf Shah et al., 2016). Namun, kandungan nutrisi pada jagung cukup rendah. Oleh karena itu, kacang merah berpotensi untuk ditambahkan dalam pembuatan makanan ringan ekstrudat berbasis jagung untuk meningkatkan kandungan nutrisi dalam makanan ringan sehingga lebih diterima oleh konsumen. Kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.) mengandung 15-30% protein dan 50-60% karbohidrat (Singh et al., 2021). Selain itu, Kacang merah juga memiliki kandungan amilopektin sebesar 61% dan amilosa sebesar 39% dari total karbohidrat (Krisna, 2011).

Karakteristik ekstrudat dapat dipengaruhi oleh formulasi bahan yang digunakan (Dalbhagat et al., 2019). Dalam proses ekstrusi, pati dan protein yang terkandung dalam bahan dapat mengalami perubahan struktur seperti gelatinisasi pati, denaturasi protein, dan inaktivasi enzim (Offiah et al., 2019). Namun, gelatinisasi pati ini juga dipengaruhi oleh kandungan amilopektin dan amilosa dalam bahan (Kamarudin et al., 2018). Kandungan amilopektin yang lebih mendominasi mendukung ekspansi pada ekstrudat akibat terbentuknya gelembung-gelembung sehingga ekstrudat yang dihasilkan lebih renyah sedangkan kandungan amilosa mempengaruhi pembentukan lapisan luar ekstrudat yang kokoh (Kamarudin et al., 2018; Nurilmala et al., 2014). Selain formulasi bahan, karakteristik ekstrudat juga dipengaruhi oleh suhu ekstruder (Alam et al., 2016). Suhu ekstruder tinggi pada umumnya dapat menghasilkan ekstrudat dengan ekspansi yang tinggi (Majumdar & Singh, 2014). Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu ekstruder dan rasio kacang merah-grit jagung terhadap sifat fisik ekstrudat.

Tujuan

Pembuatan ekstrudat berbasis jagung dan kacang merah menggunakan *twin screw extruder* masih jarang dilakukan. Anton et al. (2009) telah melakukan penelitian mengenai pembuatan ekstrudat berbasis pati jagung, *navy bean*, dan kacang merah serta efeknya terhadap ekspansi, densitas, warna, dan tekstur ekstrudat. Selain itu, penelitian mengenai penambahan kacang merah terhadap ekstrudat berbasis beras juga telah dilakukan oleh Agathian et al., (2015). Meskipun demikian, informasi mengenai pengaruh penambahan kacang merah dan suhu ekstruder terhadap sifat fisik ekstrudat berbasis grit jagung belum banyak ditemukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu ekstruder dan rasio kacang merah-grit jagung terhadap sifat fisik ekstrudat, yaitu rasio ekspansi, kadar air, densitas partikel, densitas curah, *water absorption index* (WAI), *water solubility index* (WSI), dan kekerasan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Ekstruder ulir ganda (*twin screw extruder*) SYSLG IV produksi Shandong Saibainuo Co., Ltd, China sebagai alat utama yang digunakan untuk membuat ekstrudat. *Mixer* Ossel B7 digunakan untuk mencampurkan bahan. Alat pengambilan data yang digunakan antara lain, kaliper, oven laboratorium Sanyo MOV-112, gelas ukur 1000mL, timbangan digital Ohaus PA4102 dan timbangan analitik Shimadzu AUW220, *texture analyzer* Brookfield CT-3, sentrifuge Kokusan H-27F, dan *vortex mixer* DLAB MX-S.

Bahan utama yang digunakan adalah grit jagung dengan kadar air awal $11,21 \pm 0,23\%$ yang diperoleh dari CV Surya Grain, Sidoarjo, Jawa Timur dan kacang merah yang dihaluskan menggunakan *disk mill* dengan kadar air $10,77 \pm 0,81\%$ yang diperoleh dari Pasar Beringharjo, Yogyakarta. Grit jagung dan tepung kacang merah kemudian diayak menggunakan ayakan mesh-24 dan mesh-80, secara berturut-turut.

Metode

Eksperimen dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial (RAL) 3x3. Variabel bebas berupa rasio kacang merah terhadap grit jagung (10%, 20%, dan 30%) dan suhu ekstruder (120°C, 130°C, dan 140°C). Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah rasio ekspansi, kadar air, densitas partikel, densitas curah, kekerasan, *water absorption index* (WAI), dan *water solubility index* (WSI). Setiap perlakuan dilakukan dalam rangkap tiga.

Tabel 1. Rancangan percobaan proses ekstrusi

Rasio Kacang Merah :	Suhu Ekstruder (T)		
Grit jagung (M)	120°C	130°C	140°C
10%	M10T120	M10T130	M10T140
20%	M20T120	M20T130	M20T140
30%	M30T120	M30T130	M30T140

Proses persiapan dilakukan dengan mencampurkan grit jagung, tepung kacang merah, dan air menggunakan *mixer* Ossel B7 sesuai dengan perlakuan. Kadar air seluruh campuran bahan disesuaikan pada kadar air 14% w.b dengan menambahkan sejumlah air berdasarkan perhitungan kesetimbangan massa dan dicampur selama 20 menit. Kemudian, campuran bahan disimpan pada suhu ruang selama 24 jam untuk mencapai kesetimbangan. Proses ekstrusi dilakukan pada suhu T1 = 40°C, T2 = 50°C, T3 = 100°C, dan T4 = suhu variasi (120°C, 130°C, dan 140°C). Kecepatan *cutter* yang digunakan 6 rpm, kecepatan *feeder* 15 rpm, kecepatan *screw* 20 rpm, dan diameter *die* 6 mm dengan bentuk lingkaran. Ekstrudat yang dihasilkan kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 3 jam dan disimpan dalam *standing pouch* (polypropylene) sampai dilakukan analisis lebih lanjut.

Pengukuran Karakteristik Fisik

Rasio Ekspansi (ER)

Pengukuran dilakukan dengan membandingkan diameter ekstrudat dengan diameter *die* (Dumchaiyapoom et al., 2019). Diameter ekstrudat diukur menggunakan kaliper. Sebanyak 10 sampel ekstrudat dipilih secara acak dan diukur.

$$\text{Rasio ekspansi} = \frac{\text{diameter ekstrudat (mm)}}{\text{diameter die (mm)}} \dots\dots\dots (1)$$

Kadar Air

Kadar air ekstrudat diukur berdasarkan metode termogravimetri dengan mengeringkan sampel pada suhu 105°C selama 24 jam (hingga massa konstan) (BSN, 2015). Pengukuran kadar air dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

Densitas Partikel (PD)

Densitas partikel diukur dengan mengukur dimensi dan massa 10 sampel ekstrudat yang dipilih secara acak. Volume ekstrudat dihitung dari dimensi ekstrudat dengan mengasumsikan bentuk ekstrudat sebagai tabung. Dimensi ekstrudat diukur menggunakan kaliper (Adeyemi & Idowu, 2014). Pengukuran densitas partikel dilakukan dengan persamaan (2).

$$\text{Densitas partikel } \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{4.m}{\pi.d^2.l} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- m : massa sampel ekstrudat (g)
- d : diameter ekstrudat (cm)
- l : panjang ekstrudat (cm)

Densitas Curah (BD)

Densitas curah diukur dengan menimbang massa sampel ekstrudat yang mengisi gelas ukur 1000 mL (Balasubramanian & Singh, 2007). Pengukuran densitas curah dilakukan dengan persamaan (3). Pengukuran densitas curah dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

$$\text{Densitas curah } \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{\text{massa (g)}}{\text{Volume (cm}^3)} \dots\dots\dots(3)$$

Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan *Texture Analyzer* Brookfield CT-3 dengan *probe* TA-39 berdiameter 2 mm dan panjang 20 mm. Pengukuran kekerasan dilakukan pada *pretest speed* 2 mm/s, *test speed* 1 mm/s, dan *return speed* 1 mm/s, dan kedalaman target 7 mm. Nilai kekerasan (N) diambil dari nilai maksimum pada kurva *load* terhadap waktu. Pengukuran kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

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

Pengukuran WAI dan WSI dilakukan mengikuti metode pada Singha et al., (2018) dengan modifikasi. Sebanyak 1 g sampel ekstrudat yang sudah dihancurkan dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge* yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan 8 mL aquades. Sampel kemudian dihomogenisasi menggunakan *vortex mixer* selama 4 menit kemudian didiamkan pada suhu ruang selama 30 menit. Setelah didiamkan, sampel disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 5 menit. Sedimen yang tertinggal ditimbang massanya dan digunakan dalam perhitungan WAI (persamaan (4)). Supernatan kemudian dituang pada cawan dan dikeringkan pada suhu 105°C hingga massa konstan. WSI dihitung menggunakan persamaan (5). Pengukuran WAI dan WSI dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

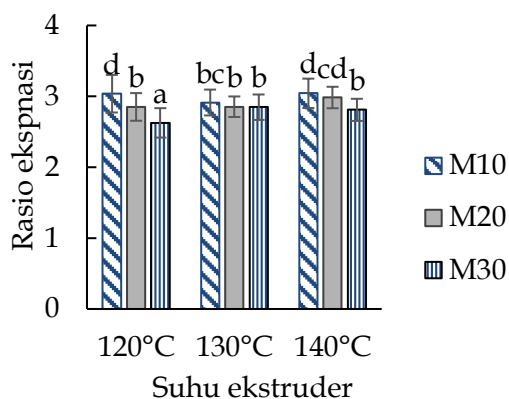
$$\text{WAI} = \frac{\text{massa sedimen basah (g)}}{\text{massa sampel kering (g)}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{WSI} = \frac{\text{massa supernatan kering (g)}}{\text{massa sampel kering (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rasio Ekspansi

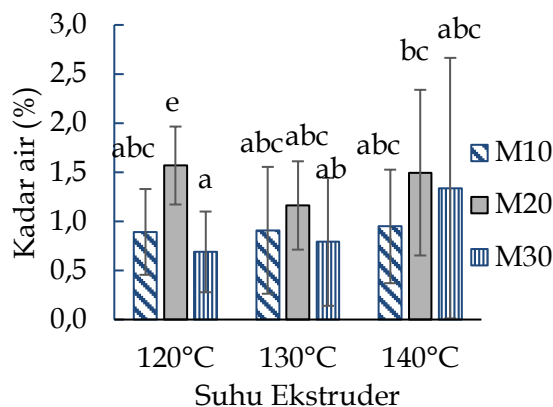
Rasio ekspansi (ER) merupakan parameter penting dalam penerimaan produk akhir ekstrudat. Nilai maksimum 3,04 diperoleh pada kondisi rasio kacang merah 10% pada suhu 140°C dan nilai minimum 2,62 pada rasio 30% dan suhu 120°C (Gambar 1). ER dipengaruhi secara signifikan oleh rasio kacang merah terhadap grit jagung, suhu ekstruder, dan interaksi antar keduanya ($p < 0,05$). Rasio kacang merah memiliki pengaruh negatif terhadap ER sedangkan suhu ekstruder memiliki pengaruh positif terhadap ER. Penurunan ER seiring dengan peningkatan rasio kacang merah dapat disebabkan karena protein dan serat yang terkandung dalam kacang merah mencegah ekspansi gelembung udara ke ukuran maksimumnya (Agathian et al., 2015). Peningkatan suhu ekstruder menyebabkan peningkatan tingkat gelatinisasi pati dan penurunan viskositas adonan di dalam barrel ekstruder, sehingga mendukung pembentukan gelembung udara dan meningkatkan ER meningkat (Ding et al., 2005; Tumwine & Asiimwe, 2019). Penurunan ER (2,57 – 3,27) seiring dengan penambahan *pigeonpea* dan bekatul juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Shruthi et al., (2016).



Gambar 1. Nilai rasio ekspansi ekstrudat pada pengaruh rasio kacang merah-grit jagung dan suhu ekstruder

Kadar Air

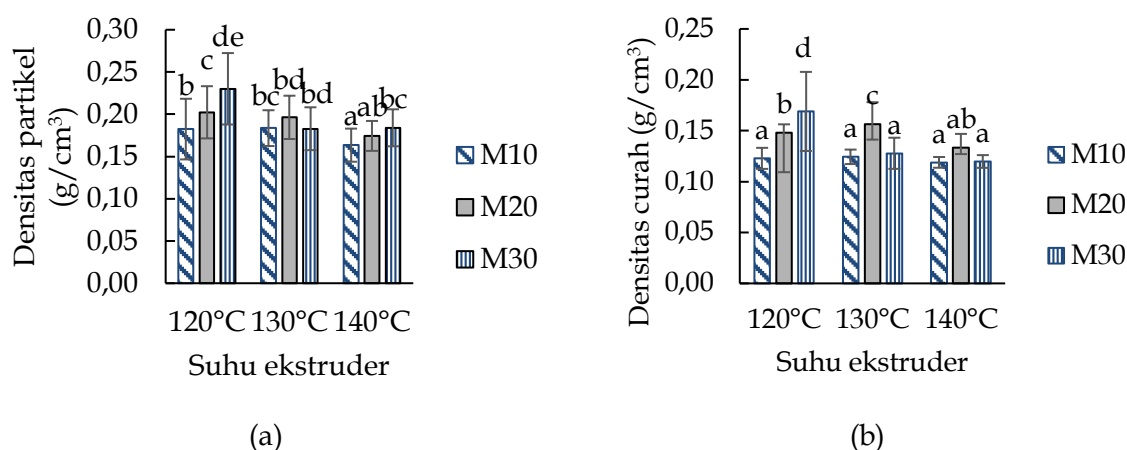
Kadar air merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas ekstrudat karena berkaitan dengan sifat fisik lainnya, terutama tekstur. Kadar air produk ekstrudat berkisar antara 0,68% - 1, 61%. % (Gambar 2). Nilai kadar air yang diperoleh telah memenuhi standar SNI 2886:2015, yaitu <4%. Kadar air ekstrudat hanya dipengaruhi secara signifikan oleh rasio kacang merah ($p < 0,05$). Meskipun demikian, kadar air ekstrudat tidak menunjukkan tren terhadap rasio kacang merah. Namun, terdapat kecenderungan bahwa perlakuan rasio kacang merah tinggi menghasilkan ekstrudat dengan kadar air yang rendah. Hal ini dapat disebabkan karena peningkatan kandungan serat menurunkan kapasitas menahan air dari pati yang tergelatinisasi sehingga menghasilkan ekstrudat dengan kadar air rendah (Yanniotis et al., 2007). Kapasitas menahan air suatu bahan berkaitan dengan sifat dan kondisi fisikokimia dari protein (seperti hidrofobisitas, ukuran molekul, dan derajat denaturasi) dan serat (Ramos Diaz et al., 2017).



Gambar 2. Nilai kadar air ekstrudat pada pengaruh rasio kacang merah-grit jagung dan suhu ekstruder

Densitas Partikel (PD) dan Densitas Curah (BD)

Densitas partikel dan densitas curah ekstrudat dipengaruhi secara signifikan oleh komposisi, suhu ekstruder, dan interaksinya ($p < 0,05$). PD ekstrudat berkisar antara 0,16 - 0,23 g/cm³ (Gambar 3a) dan BD ekstrudat berkisar antara 0,12 - 0,17 g/cm³ (Gambar 3b). Peningkatan rasio kacang merah meningkatkan PD dan BD secara signifikan. Peningkatan PD dan BD seiring dengan peningkatan rasio kacang merah dapat disebabkan karena protein dapat menghambat pertumbuhan gelembung udara yang menyebabkan penurunan ekspansi dan ekstrudat yang lebih padat. Selain itu, protein juga dapat mempengaruhi distribusi air dalam adonan sehingga mempengaruhi ekspansi dari ekstrudat (Philipp et al., 2017). Sebaliknya, peningkatan suhu ekstruder menurunkan PD dan BD secara signifikan. Hal ini disebabkan karena peningkatan suhu ekstruder akan menurunkan viskositas lelehan dan menyebabkan terbentuknya gelembung pada saat proses ekstrusi (Ding et al., 2005). Selain itu, penurunan PD dan BD akibat peningkatan suhu juga dapat disebabkan karena pada suhu tinggi terjadi peningkatan *superheating* dari air yang mendukung pertumbuhan gelembung-gelembung udara dan meningkatkan volume ekstrudat (Singha et al., 2018). Tomasz et al., (2018) menyampaikan bahwa ukuran partikel bahan dan kecepatan screw ekstruder juga dapat mempengaruhi densitas ekstrudat.

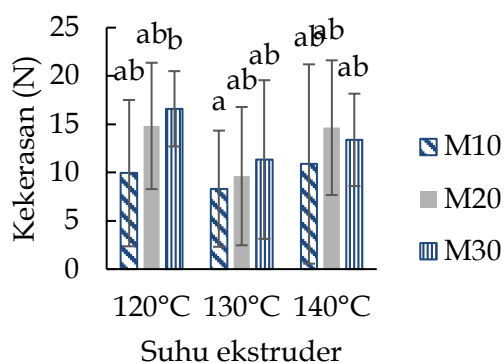


Gambar 3. Densitas partikel (a) dan densitas curah (b) ekstrudat pada pengaruh rasio kacang merah-grit jagung dan suhu ekstruder

Kekerasan

Gaya yang dibutuhkan untuk menekan dan memecah bahan makanan berhubungan dengan kekerasan dan berhubungan dengan kerenyahan. Kekerasan ekstrudat tidak dipengaruhi

oleh rasio kacang merah, suhu ekstruder, maupun interaksi antar keduanya secara signifikan ($p > 0,05$). Meskipun demikian, terdapat kecenderungan bahwa kekerasan ekstrudat meningkat seiring dengan peningkatan rasio kacang merah (8,32 - 16,59 N). Hal ini dapat disebabkan karena kandungan serat yang tinggi dari kacang merah (Nidhi & Mohan, 2019). Selain itu, kandungan protein yang tinggi juga dapat meningkatkan kekerasan ekstrudat karena terjadi peningkatan denaturasi protein dan penurunan gelatinisasi pati (Chaiyakul et al., 2008; Sahu & Patel, 2021). Peningkatan nilai kekerasan seiring dengan penambahan rasio kacang Peruano juga ditemukan oleh (Estrada-Girón et al., 2015). Pada penelitian ini, kekerasan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh suhu ekstruder. Namun, Gat & Ananthanarayan, (2015) menemukan bahwa peningkatan suhu ekstruder (80 - 120°C) dapat menurunkan kekerasan (39,82 - 37,9 N) ekstrudat yang terbuat dari tepung beras pregelatinisasi.



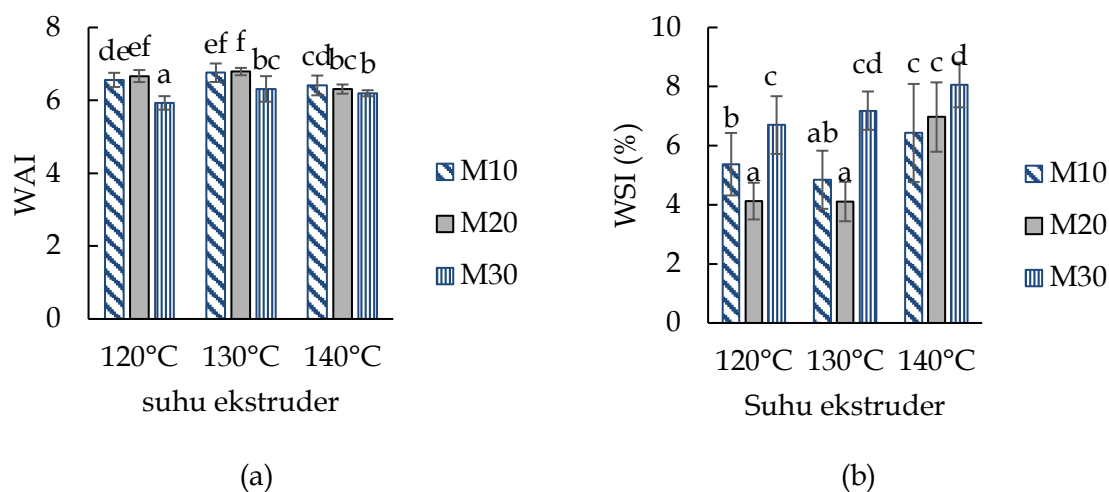
Gambar 4. Kekerasan ekstrudat pada pengaruh rasio kacang merah-grit jagung dan suhu ekstruder

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

WAI didefinisikan sebagai indikator volume yang ditempati oleh pati yang membengkak karena kelebihan air. Peningkatan WAI dikaitkan dengan tingginya proporsi granula pati yang tergelatinisasi. WAI ekstrudat dipengaruhi secara signifikan oleh rasio kacang merah-grit jagung, suhu ekstruder, dan interaksi antar keduanya ($p < 0,05$). Nilai WAI ekstrudat berkisar antara 5,92 - 6,79 (Gambar 5a). Rasio kacang merah memiliki pengaruh negatif terhadap WAI ekstrudat. Hal ini dapat disebabkan karena lebih sedikit pati yang dapat tergelatinisasi selama proses ekstrusi, sehingga menurunkan jumlah air yang dapat diserap (Zhu et al., 2010). Penurunan WAI (7,63 - 5,2) seiring dengan penambahan kacang merah (11,7 - 60%) juga dilaporkan oleh Agathian et al., (2015) pada ekstrudat berbasis beras. WAI ekstrudat juga dipengaruhi oleh suhu ekstruder. WAI ekstrudat dengan perlakuan suhu 130 °C cenderung paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan suhu 120 dan 140 °C. Kenaikan WAI pada suhu 120°C ke 130°C dapat disebabkan karena suhu ekstrusi yang lebih tinggi mendukung terjadinya gelatinisasi pati (Huang et al., 2022). Namun, penurunan WAI pada suhu 130°C ke 140°C karena adanya fenomena dekstrinasi atau pencairan pati lebih besar daripada gelatinisasi (Gat & Ananthanarayan, 2015).

WSI digunakan sebagai indikator degradasi komponen molekuler. WSI didefinisikan sebagai jumlah polisakarida yang terlarut dari pati karena proses ekstrusi (Gat & Ananthanarayan, 2015). WSI dipengaruhi secara signifikan oleh rasio kacang merah, suhu ekstruder, dan interaksi antar keduanya ($p < 0,05$). WSI ekstrudat bervariasi dari 4,11% - 8,05% (Gambar 5). Peningkatan suhu ekstruder meningkatkan WSI secara signifikan karena pada suhu tinggi terjadi peningkatan dekstrinasi pati dan menyebabkan kelarutan meningkat karena perubahan struktur granula pati (Kothakota, 2013). Selain itu, rasio kacang merah juga memiliki pengaruh positif secara signifikan terhadap WSI ekstrudat karena tingginya degradasi pati yang terjadi pada bahan tersebut (Minweyelet et al., 2021). Protein yang

terkandung dalam kacang merah juga lebih mudah mengalami degradasi akibat suhu (Agathian et al., 2015). Peningkatan WSI (31,36 – 35,83%) akibat penambahan kacang Peruano (25-50%) juga ditemukan oleh Estrada-Girón et al., (2015) pada ekstrudat berbasis jagung.



Gambar 5. WAI (a) dan WSI (b) ekstrudat pada pengaruh rasio kacang merah-grit jagung dan suhu ekstruder

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air dan suhu ekstruder mempengaruhi karakteristik ekstrudat. Suhu ekstruder memiliki pengaruh positif terhadap rasio ekspansi dan pengaruh negatif terhadap kadar air, densitas curah, densitas partikel, WAI, WSI, dan kekerasan. Ekstrudat dengan perlakuan rasio kacang merah-grit jagung tinggi memiliki kadar air, densitas curah, densitas partikel, kekerasan, dan WSI yang tinggi namun memiliki rasio ekspansi dan WAI yang rendah.

Saran

Sebaiknya dalam ekstrusi dimungkinkan untuk menambah campuran jagung dengan biji kacang berprotein (kacang merah) sampai dengan 30%, namun suhu barrel maksimal adalah 140°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Teknik Pangan dan Pascapanen, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian yang dilakukan.

PENDANAAN

Penelitian ini didanai oleh Program Rekognisi Tugas Akhir (RTA) 2023 dengan nomor hibah 5075/UNI.P.II/Dit-Lit/PT.01.01/2023.

CONFLICT OF INTEREST

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak mana pun.

DAFTAR REFERENSI

2020_MDLZ_stateofsnacking_report_GLOBAL_EN. (n.d.).

- Adeyemi, O. A. P., & Idowu, M. A. (2014). Effect of Extrusion Parameters on the Physical and Functional Properties of Cocoyam (*Colocasia esculenta*) Flour. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(5), 29-34. <https://doi.org/10.9790/2402-08552934>
- Agathian, G., Semwal, A. D., & Sharma, G. K. (2015). Optimization of barrel temperature and kidney bean flour percentage based on various physical properties of extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4113-4123. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1483-7>
- 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. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445-473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Anton, A. A., Gary Fulcher, R., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2008.08.050>
- Balasubramanian, S., & Singh, N. (2007). Effect of extrusion process variables and legumes on corn extrudates behaviour. *Journal of Food Science and Technology*, 44(3), 330-333.
- BSN. (2015). SNI 2886:2015 Makanan Ringan Ekstrudat. *Standart Nasional Indonesia*, 2886, 1-41.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., & Winger, R. (2008). Effect of Protein Content and Extrusion Process on Sensory and Physical Properties of Extruded High-Protein, Glutinous Rice-Based Snack. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 42, 182-190. <https://www.researchgate.net/publication/264838804>
- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 85, pp. 226-240). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- 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>
- Dumchaiyapoom, K., Hannanta-Anan, P., & Phongpipatpong, M. (2019). Effect of extrusion conditions on the physical properties of coonut rice-based extrudates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 301(1), 0-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/301/1/012056>

- Estrada-Girón, Y., Martínez-Preciado, A. H., Michel, C. R., & Soltero, J. F. A. (2015). Characterization of extruded blends of corn and beans (*Phaseolus Vulgaris*) cultivars: Peruano and black-querétaro under different extrusion conditions. *International Journal of Food Properties*, 18(12), 2638–2651. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.999862>
- 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>
- Huang, X., Liu, H., Ma, Y., Mai, S., & Li, C. (2022). Effects of Extrusion on Starch Molecular Degradation, Order–Disorder Structural Transition and Digestibility – A Review. In *Foods* (Vol. 11, Issue 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11162538>
- Kamarudin, M. S., de Cruz, C. R., Saad, C. R., Romano, N., & Ramezani-Fard, E. (2018). Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 236, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.007>
- Kothakota, A. (2013). A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products. *African Journal of Food Science*, 7(12), 485–497. <https://doi.org/10.5897/ajfs2013.1065>
- Krisna, D. D. A. (2011). Pengaruh Regelatinasi dan Modifikasi Hidrotermal Terhadap Sifat Fisik pada Pembuatan Edible Film dari Pati Kacang Merah (*Vigna Angularis Sp.*). *Thesis*, 1–61.
- Majumdar, R. K., & Singh, R. K. R. (2014). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of fish-based expanded snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 864–879. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12041>
- 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)
- Mondelez International. (2022). *The Fourth Annual State of Snacking*. 1–23. [https://www.mondelezinternational.com/-/media/Mondelez/stateofsnacking/2022/2022 MD LZ_stateofsnacking_report_GLOBAL_EN.pdf](https://www.mondelezinternational.com/-/media/Mondelez/stateofsnacking/2022/2022_MD LZ_stateofsnacking_report_GLOBAL_EN.pdf)
- Mondelez, Poll, T. H., & Atlas, N. (2021). 2021 Global Consumer Snacking Trends Study. *State Of Snacking*, 1–30.
- Moscicki, L., & Wojtowicz, A. (2011). Raw Materials in the Production of Extrudates. In L. Moscicki (Ed.), *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability* (pp. 45–64). Wiley-VCH.

- Nidhi, K., & Mohan, S. (2019). Effect of Extrusion Parameters on Textural Properties of Parboiled Rice based Bittergourd and Water Chestnut Blended Extrudates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(07), 2021–2029. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.242>
- Nurilmala, M., Suptijah, P., Subagja, Y., & Hidayat Departemen Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Jalan Lingkar Akademik, T. (2014). *PEMANFAATAN DAN FORTIFIKASI IKAN PATIN PADA SNACK EKSTRUSI Utilization and Fortification of Patin Fish on Extrusion Snack*. 17, 175–185.
- Offiah, V., Kontogiorgos, V., & Falade, K. O. (2019). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 59, Issue 18, pp. 2979–2998). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>
- Philipp, C., Oey, I., Silcock, P., Beck, S. M., & Buckow, R. (2017). Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. *Journal of Food Engineering*, 212, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.024>
- Prabha, K., Ghosh, P., S, A., Joseph, R. M., Krishnan, R., Rana, S. S., & Pradhan, R. C. (2021). Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology. *Future Foods*, 3(January), 100019. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100019>
- Ramos Diaz, J. M., Sundarrajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S., & Jouppila, K. (2017). Effect of Extrusion Cooking on Physical Properties and Chemical Composition of Corn-Based Snacks Containing Amaranth and Quinoa: Application of Partial Least Squares Regression. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12320>
- Rouf Shah, T., Prasad, K., & Kumar, P. (2016). Maize – A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
- Sahu, C., & Patel, S. (2021). Optimization of maize-millet based soy fortified composite flour for preparation of RTE extruded products using D-optimal mixture design. *Journal of Food Science and Technology*, 58(7), 2651–2660. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04771-1>
- Shruthi, V. H., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ramachandera, C. T., & Jhadav, K. (2016). Effect of Temperature, Feed Moisture and Feed Composition on the Physical Properties on Corn Extrudates. *Environment & Ecology*, 35(3), 1610–1617.
- Singh, A., Gupta, A., & Savita Sharma SE - Kidney Beans: Nutritional Properties and Health Benefits, B. C. (2021). Kidney Beans: Nutritional Properties, Biofunctional Components, and Health Benefits. In *Handbook of Cereals, Pulses, Roots, and Tubers*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003155508-24>
- Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K., & Krishnan, P. (2018). Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1914–1926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.769>

- Tomasz, Ż., Adam, E., Adam, S., & Jacek, S. (2018). Influence of extruder screws speed and process temperature on the extrudate shape changes of the maize-spelt blends. *BIO Web of Conferences*, 10, 02036. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002036>
- Tumwine, G., & Asimwe, A. (2019). Effect of barrel temperature and blending ratio on the sensory and physical properties of cassava-extruded snacks. *Cogent Food and Agriculture*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1633795>
- Yagci, S., & Gogus, F. (2012). Quality Control Parameters of Extrudates and Methods for Determination. In M. Maskan & A. Altan (Eds.), *Advances in Food Extrusion Technology* (pp. 297–326). CRC Press.
- Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594–599. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.018>
- Zhu, L. J., Shukri, R., De Mesa-Stonestreet, N. J., Alavi, S., Dogan, H., & Shi, Y. C. (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>