

Optimasi Proses Ekstrusi *Cassamore* (Campuran Singkong-Daun Kelor) sebagai Pakan Pengganti Jagung

Optimization *Cassamore* (Cassava – Moringa Mix) Extrusion Process as A Feed Substitute for Corn

S T Risyahadi^{*}, H A Sukria¹, H Afrilia¹

Corresponding email:
sazlitutur@apps.ipb.ac.id,

¹Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University Bogor, Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

ABSTRACT

As a corn substitute, *cassamore* (Cassava – Moringa Mix) is an innovative local feed ingredient based on cassava with a mixture of palm kernel meal, cassava leaf flour and moringa extract processed by extrusion that can destroy antinutrients, improve nutrient content and digestibility. This study aimed to optimize the temperature and water content of the hydrothermal extrusion process, as well as to analyze the effect of extrusion on the physical and chemical characteristics of *Cassamore* as a corn substitution. The method used is response surface methodology in the statistical application of design expert 13 with extrusion temperature factors of 100, 110, 120 (°C) and moisture content of 16, 18, 20 (%). Further research was carried out for the physical and chemical properties of *Cassamore* using a complete randomized design (CRD). The results showed that the *water absorption index* value is significant ($p < 0.05$) with the optimal value located at 100 °C and 20% moisture content, while the *water solubility index* value is not significant. The values of bulk density, tapped density, and angle of repose on *Cassamore* after being extruded were smaller than those before being extruded. The bulk density and tapped density values for *Cassamore* were below corn, while *Cassamore's* angle of repose was above the corn. *Cassamore's* specific gravity value after extruding under corn. Chemical properties (Ash, crude protein, crude fat, crude fiber) decreased after extrusion, but NFE increased after extrusion. It is concluded that *Cassamore* has a potency to replace corn.

Key words: cassava, corn, extrusion, moringa oleifera, palm kernel meal

ABSTRAK

Sebagai bahan alternatif pengganti jagung, *cassamore* (*Cassava Moringa*) merupakan salah satu inovasi bahan pakan lokal berbasis singkong dengan campuran bungkil kelapa sawit, tepung daun singkong, dan ekstrak daun kelor yang diekstrusi sehingga dapat mengurangi antinutrisi, meningkatkan nutrisi, dan pencernaan pakan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi suhu dan kadar air proses *hydrothermal* ekstrusi, serta menganalisa pengaruh ekstrusi terhadap karakteristik kimia pada bahan pakan *Cassamore* sebagai pakan pengganti jagung. Metode yang digunakan yaitu *response surface methodology* pada aplikasi statistik *design expert* 13 dengan faktor suhu ekstrusi 100, 110, 120 (°C) dan kadar air 16, 18, 20 (%). Penelitian lanjut dilakukan untuk menguji sifat fisik dan kimia *Cassamore* dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Hasil penelitian menunjukkan nilai *water absorption index* signifikan ($p < 0,05$) dengan nilai optimal pada suhu 100 °C dan kadar air 20%, sedangkan nilai *water solubility index* tidak signifikan. Nilai kerapatan tumpukan, kerapatan pepadatan tumpukan, sudut tumpukan, berat jenis pada *Cassamore* setelah ekstrusi lebih kecil daripada *Cassamore* yang sebelum diekstrusi. Nilai kerapatan tumpukan dan kerapatan pepadatan tumpukan pada *Cassamore* berada dibawah jagung, sedangkan sudut tumpukan *Cassamore* berada diatas jagung. Nilai Berat jenis *Cassamore* sesudah diekstrusi dibawah jagung. Sifat kimia (abu, protein kasar, lemak kasar, serat kasar) mengalami penurunan setelah ekstrusi, sedangkan BETN meningkat setelah ekstrusi. Kesimpulan penelitian *Cassamore* berpotensi menggantikan jagung.

Kata kunci: bungkil inti sawit, ekstrusi, jagung, kelor, singkong

PENDAHULUAN

Pakan merupakan komponen terbesar biaya produksi di peternakan yang mencapai 60-70%. Jagung merupakan komponen terbesar dalam pakan ternak terutama unggas sebanyak 60%. Kebutuhan jagung dalam negeri untuk pakan diperkirakan lebih dari 58%, untuk pangan 30% dan sisanya untuk kebutuhan industri dan benih sebesar 12% (Kementan 2013). Kebutuhan jagung yang meningkat juga disertai meningkatnya harga jagung sebagai bahan pakan konvensional. Hal ini mendorong industri pakan untuk mencari bahan pakan alternatif lokal di Indonesia seperti singkong. *Cassamora* (*Cassava Moringa*) merupakan salah satu inovasi bahan pakan lokal berbasis singkong (*Cassava*) dengan campuran bungkil kelapa sawit (*Palm Kernel Meal*), tepung daun singkong (*Cassava leaves*), dan ekstrak kelor (*Moringa oleifera*). Berdasarkan penelitian Augustine et al. (2011), substitusi 50% jagung dengan singkong dalam ransum dapat meningkatkan kualitas karkas dan tidak mempengaruhi performa pertumbuhan pada ayam broiler. Pemberian tepung singkong mampu menghasilkan performa yang sama seperti ayam broiler yang diberi pakan jagung dalam ransum selama lima minggu (Rahmadani et al. 2021). Menurut Dewayanti et al. (2015), penggunaan 15% onggok sebagai pengganti jagung dalam pakan mampu menghasilkan kualitas karkas ayam pedaging yang terbaik. Tepung singkong sebagai pengganti jagung dalam ransum hingga 45% dapat direkomendasikan dengan penambahan bahan sumber protein dan *additive* untuk mempertahankan sifat fisik telur (Mampiooper et al. 2008).

Bungkil kelapa sawit (*Palm Kernel Meal*) menurut Pasaribu (2018) mengandung kadar protein kasar 14,19-21,66%, lemak kasar 9,5-10,5%, dan serat kasar 12-63%. Penambahan bungkil kelapa sawit dapat menjadi sumber protein pada bahan penyusun pengganti jagung dengan singkong. Walaupun serat kasar bungkil kelapa sawit tinggi, dengan adanya pengayakan dan proses *hydrothermal* menggunakan *extruder* akan menurunkan kandungan serat kasar tersebut.

Daun singkong (*Cassava leaves*) mempunyai kandungan protein kasar sebesar 27,28% (Latif & Joachim 2015), sumber zat besi, kalsium, vitamin A dan C, serta mengandung asam amino esensial yang ditemukan di telur ayam (Salata et al. 2014). Penambahan daun singkong dapat menjadi sumber protein pada bahan penyusun *Cassamora* pengganti jagung. Daun kelor (*Moringa Oleifer*) telah dianalisis sebagai sumber karoten yang tinggi, vitamin terutama vitamin C, protein, dan mineral (Aditama et al. 2021). Kandungan mineral yang tinggi pada daun kelor yaitu seng, magnesium, kalsium, kalium, fosfor, besi, mangan, dan tembaga (Oyeyinka & Oyeyinka 2016). Penambahan daun kelor *steam* menghasilkan bobot badan akhir ayam broiler lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol (Sukria et al. 2018).

Proses *hydrothermal* diharapkan dapat meningkatkan nilai nutrisi bahan pakannya. Pernyataan tersebut didukung oleh Salata et al. (2014) bahwa,

keuntungan penggunaan ekstrusi daun singkong dapat menghancurkan antinutrisi, terutama inhibitor tripsin, hemaglutinin, tanin, dan fitat, serta semua yang menghambat pencernaan protein. Perlakuan fisik, termasuk *hydrothermal* ekstrusi memberikan alternatif selain perlakuan enzimatis. Hasil penelitian meta-analisis Risyahadi et al. (2023) menyatakan bahwa proses ekstrusi bahan pakan memiliki dampak positif pada penambahan berat badan, FCR, dan pencernaan nutrisi ayam broiler. Belum banyak kajian mengenai pengaruh proses *hydrothermal* ekstrusi tepung singkong terutama pengaruh suhu, dan kadar air pada bahan sebagai pengganti jagung.

Penelitian ini bertujuan memperoleh parameter proses ekstrusi yang optimal sehingga diharapkan dapat menghasilkan bahan pakan alternatif sebagai pengganti jagung. Dengan adanya alternatif tersebut, secara langsung diharapkan dapat mengurangi biaya pakan sehingga dapat mempengaruhi harga produk ternak sumber protein seperti daging ayam dan telur. Selain itu, alternatif pengganti jagung ini pun dapat mengatasi potensi kelangkaan bahan pakan impor mengingat sebagaimana jagung bersumber dari luarnegeri. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai optimasi proses *hydrothermal Cassamora* (*Cassava Moringa*) sebagai pengganti jagung.

METODE

Bahan dan Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin ekstrusi Zhengzhou Bainte Machinery Equipment Co., LTD - China, *grinder*, *mixer*, *grain moisture meter*, timbangan, oven 60°C, serta seperangkat alat pengujian proksimat, *water absorption index*, dan *water solubility index*. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu singkong, daun singkong, daun kelor, bungkil inti sawit dan jagung kuning pipil.

Prosedur Penelitian

Pengolahan bahan pakan cassamora

Singkong dipanen dan dikupas kulitnya. Lalu, di iris tipis-tipis dan dikeringkan sampai kadar air kurang dari 14%. Setelah itu, digiling menggunakan *grinder* dengan *screen* 2 mm untuk dijadikan tepung singkong. Daun singkong yang dipanen setelah masa tanam singkong dan dipisahkan dari batangnya. Daun dikeringkan dalam *domedryer*. Setelah kering, bahan digiling menggunakan gilingan dengan *screen* 2 mm untuk mendapatkan tepung daun singkong. Bungkil inti sawit digiling dengan *grinder*, lalu diayak dengan ukuran *mesh* 30 yang tujuannya agar kadar serat kasar turun.

Daun kelor dipanen dengan ranting, kemudian di cuci dengan air agar bersih dari kotoran dan dikeringkan dengan cara digantung. Setelah itu, daun dipotong-potong kecil beserta rantingnya menggunakan gunting. Lalu, gula aren berbentuk bubuk dicampurkan dengan

Tabel 1 Kandungan nutrisi bahan pakan *Cassamore*

Bahan pakan	BK (%)	Abu (%)	PK (%)	LK (%)	SK (%)	BETN (%)
Tepung singkong ¹	84,13	2,44	3,60	0,44	0,48	77,18
Tepung daun singkong ²	91,4	8,47	25,37	11,77	10,63	35,16
Bungkil inti sawit (saring) ³	93,95	6,24	16,23	11,59	13,38	46,51
Daun kelor (ekstrak+daun) ⁴	95,16	9,04	24,94	11,5	4,8	44,84

Keterangan: ¹Fagbohun dan Lawal (2014), ²Abu et al. (2014), ³Laboratorium Biotech Center IPB University (2022), ⁴Mgbemena & Obodo (2016). BK : bahan kering, PK : protein kasar, LK : lemak kasar, BETN : bahan ekstrak tanpa N

daun kelor tadi dan diremas-remas menggunakan tangan. Setelah itu, ditutup dan dibiarkan selama 7 hari. Gula aren membantu proses osmosis nutrisi daun kelor sehingga keluar. Setelah 7 hari, daun kelor disaring dan dipisahkan dengan cairannya. Cairannya merupakan ekstrak kelor, sedangkan ampasnya di oven 60° C selama 3 hari hingga kering, kemudian digiling menggunakan grinder screen 2 mm menjadi serbuk ampas kelor.

Formulasi *Cassamore*

Cassamore merupakan gabungan dari *Cassava* dan *Moringa oleifera*. *Cassamore* disini, dibuat dengan campuran bungkil sawit, dan daun singkong untuk menyamai kandungan nutrisi terutama kandungan protein kasar di dalam jagung. Berikut merupakan komposisi bahan baku *Cassamore* (Tabel 1). Dengan menggunakan kandungan nutrisi pada Tabel 1, maka diperoleh formulasi *cassamore* terlihat pada Tabel 2. Berdasarkan formulasi *Cassamore* didapatkan, kandungan nutrisi *cassamore* dibandingkan dengan kandungan nutrisi jagung terdapat pada Tabel 3.

Pengukuran *Water Absorption Index (WI)* dan *Water Solubility Index (WSI)*

Water absorption index (WAI) yaitu sampel 0,5 g ukuran 100 mesh dilarutkan dalam 15 ml aquades, kemudian diaduk menggunakan stirrer selama 30 menit lalu disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. *Water absorption index (WAI)* dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Ganjyal et al. 2006):

$$WAI (ml/g) = \frac{(a+b)-(a+c)}{c}$$

Keterangan:

a = berat tabung

b = residu

c = berat sampel awal

Tabel 2 Perlakuan formulasi

Bahan pakan	Cassamore (%)	Jagung (%)
Tepung singkong	70,00	0
Tepung daun singkong	10,00	0
Bungkil inti sawit (saring)	18,00	0
Ekstrak daun kelor	1,00	0
Ampas daun kelor	1,00	0
Jagung		100,00
Total	100,00	100,00

Setelah 4 jam, cawan dikeluarkan dari oven lalu didinginkan di desikator kemudian ditimbang beratnya. *Water solubility index (WSI)* yaitu supernatant hasil sentrifugasi diambil 2 ml lalu dimasukkan ke dalam oven (105° C) dalam cawan porselen atau cawan aluminium yang diketahui beratnya selama kurang lebih 4 jam. *Water solubility index (WSI)*, dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Ganjyal et al. 2006):

$$WSI (g/ml) = \frac{(a - b)}{c}$$

Keterangan:

a = berat cawan + supernatant yang telah dikeringkan

b = berat cawan kosong

c = 2 ml suspensi

Analisis Data

Analisis data penelitian ini menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)* melalui aplikasi statistik *Design Expert 13* dengan 2 faktor dan 2 respon. Faktornya yaitu suhu ekstrusi selama 100, 110, 120°C dan variasi kadar air 16, 18, 20 (%). Responnya adalah nilai *water absorption index (WAI)* dan *water solubility index (WSI)*.

Persamaan polinomial orde kedua digunakan untuk memenuhi semua variabel yang disarankan oleh program yaitu $y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \beta_0 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j$. Setelah didapatkan nilai optimasi WAI dan WSI, dilakukan analisis lanjut untuk sifat fisik dan kimia *Cassamore*. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 3 perlakuan 4 ulangan. Perlakuan terdiri atas P0 : Jagung giling; P1: *Cassamore* sebelum di ekstrusi; P2: *Cassamore* sesudah diekstrusi (suhu dan kadar air yang optimal).

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*). Apabila terdapat perlakuan yang berbeda nyata ($p < 0,05$), maka akan dilanjutkan Uji Duncan dengan software SPSS versi 24.

Tabel 3 Perbandingan kandungan nutrisi *Cassamore* dengan jagung giling

Bahan pakan	BK (%)	Abu (%)	PK (%)	LK (%)	SK (%)	BETN (%)
<i>Cassamore</i>	86,85	3,86	8,48	3,80	3,90	66,81
Jagung giling ¹	88,69	1,09	7,78	4,95	4,52	70,35

Keterangan: ¹Murningsih et al. (2019), BK : bahan kering, PK : protein kasar, LK : lemak kasar, BETN : bahan ekstrak tanpa N

Tabel 4 Penentuan variabel bebas dan kode perlakuan pada pembuatan *Cassamore*

Variabel bebas	Code level				
	-a	-1	0	1	+a
Suhu (°C)	95,85	100	110	120	124,14
Kadar air (%)	15,17	16	18	20	20,82

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Water Absorption Index (WAI) dan *Water Solubility Index (WSI)* adalah indeks penting terkait dengan perilaku bahan yang diekstrusi untuk digunakan sebagai pengikat, penstabil, sumber protein, protein dan nutrisi, produk, dan emulsi atau lainnya (Oikonomou & Krokida 2012). Koefisien persamaan regresi dari model yang dipasang dalam *respon surface method (RSM)* hasil *water solubility index (WAI) Cassamore* disajikan pada Tabel 6.

Model yang direkomendasikan menggunakan RSM yaitu model *quadratic*. Pada Tabel 7 ini menunjukkan bahwa model signifikan. Koefisien persamaan regresi dari model yang dipasang dalam *respon surface method (RSM)* hasil *water absorption index (WAI) Cassamore* yaitu $Y=5,33-0,8352A+0,9652B+0,0495AB-0,7298A^2-0,2717B^2$. Persamaan regresi yang dipasang, didapatkan diagram 3D *surface* pengaruh suhu dan kadar air terhadap WAI (Gambar 1).

Water Absorption Index digunakan sebagai indikator kemampuan dalam menyerap air suatu tepung. *Water Absorption Index* tergantung pada keberadaan molekul relatif utuh yang tidak kehilangan kemampuannya untuk mengikat air setelah ekstrusi (Salata et al. 2014).

Tabel 5 Rancangan perlakuan *Central Composit Design (CCD)* kadar air dan suhu

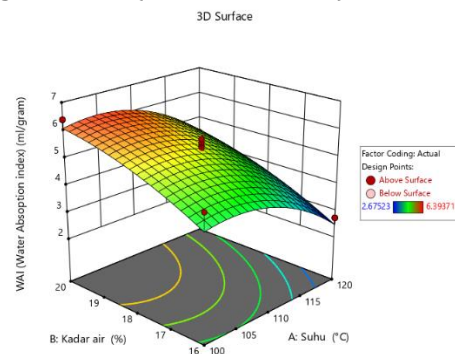
Std	Run	Factor 1 A: Suhu C	Factor B: Kadar air %
5	1	95,8579	18
13	2	110	18
10	3	110	18
9	4	110	18
4	5	120	20
6	6	124,14	18
2	7	120	16
7	8	110	15,26
12	9	110	18
1	10	100	16
11	11	110	18
8	12	110	20,82
3	13	100	20

Tabel 6 Hasil analisis ANOVA *water absorption index (WAI) Cassamore* menggunakan RSM

Variabel	P-value
<i>Mathematical model</i>	<i>Quadratic</i>
<i>Significance model</i>	0,0022
A-Suhu	0,0026
B-Kadar air	0,0012
AB	0,8541
A ²	0,0076
B ²	0,2101
<i>Lack of fit</i>	0,2300
R ²	0,8999
<i>Adjusted R²</i>	0,8283
<i>Predicted R²</i>	0,4972
<i>Adequate precision</i>	10,4090

Keterangan: Signifikan p<0,05

Water Absorption Index secara umum memegang peranan dalam meningkatkan daya cerna (Fiorda et al. 2015). *Water Absorption Index* yang tinggi dalam meningkatkan daya cerna, karena membantu proses pencernaan pati dari kompleks menjadi lebih sederhana diluar tubuh, sehingga mempercepat proses metabolisme dalam tubuh ternak, dan pertumbuhan ternak menjadi cepat (Risyahadi et al. 2023). Gambar 1 menunjukkan respon permukaan sebagai fungsi interaksi kadar air dan suhu terhadap WAI. Gambar 1 menunjukkan tipe *Rising ridge* yaitu seperti punggung yang tinggi. Rentang optimal berada di suhu 100-110 °C dan kadar air 18%-20%. Koefisien kadar air yang positif sebagai variabel yang dapat berperan dalam mengurangi degradasi granula pati dan mengakibatkan kapasitas penyerapan air meningkat. Pengaruh positif kadar air terhadap WAI juga didukung dengan penelitian Salata et al. (2014), bahwa singkong dengan campuran daun singkong yang diekstrusi berpengaruh linear terhadap kadar air, namun modelnya tidak signifikan. Koefisien suhu dengan WAI negatif karena peningkatan degradasi pati atau pelelehan pati yang terjadi pada fenomena gelatinisasi (Yadav et al. 2015).



Gambar 1 Pengaruh variabel ekstrusi pada *water absorption index (WAI)*

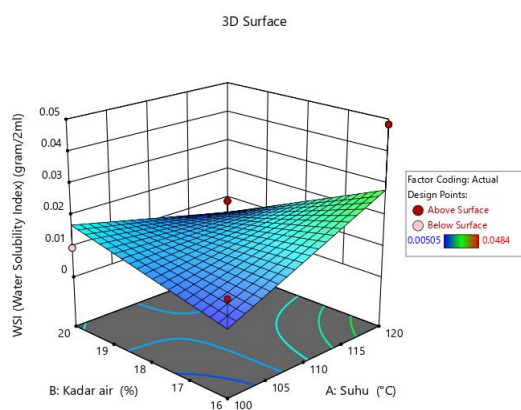
Tabel 7 Hasil analisis ANOVA *Water Solubility Index* (WSI) *Cassamore* menggunakan RSM (*Respon Surface Method*)

Variabel	P-value
<i>Mathematical model</i>	Linear
<i>Significance model</i>	0,3527
A-Suhu	0,4849
B-Kadar air	0,4997
AB	0,1359
<i>Lack of fit</i>	0,0002
R ²	0,2917
<i>Adjusted R²</i>	0,0556
<i>Predicted R²</i>	-1,7279
<i>Adequate precision</i>	3,8807

Keterangan: Signifikan $p < 0,05$

Kadar air sebagai variabel utama dalam mengurangi degradasi pati, namun menurunnya kadar air dan suhu juga mampu menurunkan nilai WAI dan dapat digunakan sebagai indeks gelatinisasi (Gultom et al. 2014).

Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 1) nilai WAI *Cassamore* setelah diekstrusi yaitu 2,67523 - 6,39371 ml g⁻¹ dengan model signifikan ($p < 0,05$). *Water Absorption Index Cassamore* mendekati hasil WAI pati singkong diekstrusi pada penelitian Leonel et al. (2009), berkisar antara 4,19 hingga 6,41 ml g⁻¹ (signifikan). Namun demikian, WAI *Cassamore* terekstrusi tersebut berada dibawah penelitian Salata et al. (2014) yang melakukan ekstrusi campuran umbi dan daun singkong dengan nilai WAINya antara 4,82 hingga 10,89 ml g⁻¹. *Water Absorption Index Cassamore* paling optimal adalah 6,39371 pada suhu 100°C dan kadar air 20%. Nilai WAI *Cassamore* 6,39371 ml g⁻¹ ini lebih kecil dibandingkan nilai optimum pada Salata et al. (2014), diduga karena penambahan kandungan serat kasar yang ada pada bungkil inti sawit dan ampas daun kelor. Variasi WAI ekstrudat dapat disebabkan oleh denaturasi protein, gelatinisasi, dan pembengkakan serat kasar (Mesquita et al. 2013).



Gambar 2 Pengaruh variabel ekstrusi pada *Water Solubility Index* (WSI)

Gelatinisasi pati dan pembengkakan serat kasar yang terjadi selama ekstrusi dapat menyebabkan variasi WAI ekstrudat (Mesquita et al. 2013). Nilai WAI *Cassamore* yang tinggi pada kadar air antara 18-20%, dan suhu 100-110 °C, sedangkan pada penelitian ekstrusi singkong dengan campuran daun singkong pada Salata et al. (2014) terletak pada kadar air 12-14% dan suhu 100 °C. Ekstrusi pati singkong pra-gelatin pada penelitian Fiorda et al. (2015) nilai WAI optimalnya pada kadar air 14,7%-17,1% suhu 73,5-97,1 °C. Perbedaan letak suhu dan kadar air pada nilai WAI optimal setiap penelitian berbeda, disebabkan oleh jenis mesin ekstruder, adanya penambahan bahan lain, dan formulasi penyusunan bahan. Leonel et al. (2009)

Setelah didapatkan nilai optimum pada suhu 100 °C dan kadar air 20%, nilai WAI dengan jagung yaitu jagung 1,8385 ml g⁻¹, *Cassamore* sebelum diekstrusi sebesar 1,7091 ml g⁻¹, dan sesudah diekstrusi 6,3937 ml g⁻¹. *Cassamore* setelah ekstrusi dapat meningkatkan nilai WAI dari 1,7091 ml g⁻¹ menjadi 6,3937 ml g⁻¹ jika dibandingkan dengan jagung, WAI *Cassamore* ekstrusi mempunyai kandungan WAI lebih tinggi daripada jagung. karena proses ekstrusi dapat menyebabkan gelatinisasi. Gelatinisasi merupakan proses keruntuhan atau pembengkakan sebab adanya air serta panas dari susunan molekul granula pati, sehingga granula pati tidak bisa kembali ke wujud semula (Perez-Santos et al. 2016). Gelatinisasi pati mengakibatkan granula rusak dan akan terputus dari gugus hidroksil ikatan amilosa dan amilopektin karena struktur kristalnya terganggu (Wiadnyani et al. 2017). Proses gelatinisasi tersebut mengakibatkan air mudah menembus granula, sehingga kelarutan air meningkat dan amilosa banyak yang keluar (Novikasari & Muflihati 2022). Amilosa yang keluar karena ikatan hydrogen tidak bisa menahan granula pati, sehingga amilosa keluar terlarut bersama air. Amilosa yang keluar terlarut bersama air didukung oleh Fiorda et al. (2015), bahwa setelah proses ekstrusi, granula pati mengalami gangguan yang menunjukkan adanya gelatinisasi yaitu pecahnya ikatan hydrogen yang mempengaruhi tingkat kelarutan, viskositas, tingkat amilosa dan amilopektin. WAI secara umum memegang peranan dalam meningkatkan daya cerna (Fiorda et al. 2015).

Nilai WAI *Cassamore* ekstrudat (6,3937 ml g⁻¹) jika dibandingkan WAI jagung ekstrudat menurut penelitian (Oikonomou & Krokida, 2011) yaitu *cassamore* ekstrudat lebih tinggi dibandingkan jagung ekstrudat. WAI yang tinggi dalam meningkatkan daya cerna, karena membantu proses pencernaan pati dari kompleks menjadi lebih sederhana karena adanya gelatinisasi diluar tubuh, sehingga mempercepat proses metabolisme dalam tubuh ternak, dan pertumbuhan ternak menjadi cepat (Risyahadi et al. 2023). Sehingga

dapat dikatakan kecernaan *Cassamore* ekstrusi lebih tinggi daripada jagung dan *Cassamore* tanpa ekstrusi. Koefisien persamaan regresi dari model hasil *Water Solubility Index* (WSI) *Cassamore* disajikan pada Tabel 7. Hasil desain *Central Composite Design* (CCD) dan nilai respon WSI *Cassamore* hasil laboratorium yang digunakan untuk mencari suhu dan kadar air optimal disajikan pada Tabel 9. Hasil tersebut diperoleh menggunakan *Respon Surface Method* (RSM).

Model yang direkomendasikan menggunakan RSM yaitu model linear. Pada Tabel 8 ini menunjukkan bahwa model tidak signifikan. Berdasarkan hasil analisis ANOVA dengan persamaan regresi dengan RSM, didapatkan diagram 3D *surface* pengaruh suhu dan kadar air terhadap WSI (Gambar 2).

Water Solubility Index (WSI) merupakan indikator kelarutan air yang dapat mengukur penyusutan degradasi pati di komponen molekul suatu bahan (Oikonomou & Krokida 2012). Nilai WSI *Cassamore* antara 0,00505 sampai 0,0484 g ml⁻¹ atau 0,505%-4,84% dengan model yang tidak signifikan. Hasil yang tidak signifikan, karena formulasi ransum yang sama diantara 13 *running*, perlakuan proses yang terdapat error factor seperti kecepatan *screw*, kecepatan ulir, dan tekanan, yang tidak dapat diatur. Tepung singkong dengan penambahan daun singkong yang diekstrusi pada penelitian Salata et al. (2014) memiliki nilai WSI campuran berkisar antara 30,79%-70,25% dengan model tidak signifikan. Nilai WSI yang berbeda tersebut, dapat dikarenakan dengan penambahan bahan bungkil inti sawit pada *cassamore* yang mengandung protein dan serat kasar yang tinggi. Tingginya kandungan komponen lain dalam tepung singkong yang diekstrusi terutama protein, dapat menurunkan nilai WSI (Salata et al. 2014). Peningkatan suhu dan kelembaban secara simultan menurunkan WSI yang mungkin disebabkan oleh pengaruh kelembaban yang cukup tinggi pada WSI daripada suhu (Yadav et al. 2015). Semakin tinggi suhu, maka nilai WSI semakin rendah (Riwayati et al. 2020). Perbedaan letak suhu dan kadar air pada nilai WSI optimal setiap penelitian berbeda, juga disebabkan oleh jenis mesin ekstruder, adanya penambahan bahan lain, formulasi penyusun bahan (Mesquita et al. 2013).

Setelah didapatkan nilai optimum pada suhu 120°C dan kadar air 16%, dilakukan perbandingan nilai WSI dengan jagung, *Cassamore* sebelum diekstrusi, dan sesudah ekstrusi. *Cassamore* setelah ekstrusi dapat meningkatkan nilai WSI dari 0,0011 g 2ml⁻¹ menjadi 0,0484 g 2ml⁻¹. *Water Solubility index Cassamore* ekstrusi lebih tinggi jika dibandingkan jagung dengan nilai WSI 0,0017 g 2ml⁻¹, *Cassamore* ekstrusi yang mempunyai WSI yang lebih tinggi, karena diduga adanya panas dari proses ekstrusi yang menyebabkan bahan baku tergelatinisasi dan sebagian besar amilopektin pecah menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana.

Nilai WSI *Cassamore* ekstrudat (0,0484 g 2ml⁻¹) lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai WSI jagung ekstrudat yang dikaji oleh (Oikonomou & Krokida, 2011) sebanyak. WSI digunakan sebagai indikator penyusutan degradasi pati (Salata et al. 2014), sehingga dapat dikatakan bahwa kandungan pati *Cassamore* ekstrusi lebih besar daripada jagung.

Sifat Fisik

Analisis WAI dan WSI diperoleh nilai optimum pada suhu 100 °C dan kadar air 20%. Pada bahan *running* ke-13 tersebut, kemudian di analisis sifat fisiknya untuk dibandingkan dengan sifat fisik sebelum di ekstrusi, dan jagung. Hasil analisis sifat fisik disajikan pada Tabel 8 sebagai berikut.

Kerapatan tumpukan (KT) memegang peranan penting dalam menentukan volume ruang yang akan ditempati, sehingga semakin tinggi nilai kerapatan tumpukan maka semakin kecil penyimpanan yang diperlukan (Jaelani et al. 2016). Nilai kerapatan tumpukan (*bulk density*) dapat mengevaluasi risiko volume minus pada bahan (Sharif et al. 2015). Hasil statistik (Tabel 8) menunjukkan bahwa perlakuan ekstrusi (terhadap kerapatan tumpukan lebih tinggi dari pada tidak diekstrusi (p<0,05). Kerapatan tumpukan *cassamore* yang diekstrusi lebih tinggi karena dapat dipengaruhi oleh kadar air dan suhu. Ekstrudat tepung terigu menunjukkan bahwa diameter *die*, kadar air, dan suhu pemrosesan berpengaruh nyata terhadap karakteristik struktural *bulk density* (Ryu & Walker 1995). Kerapatan tumpukan *Cassamore* yang diekstrusi lebih kecil daripada jagung (p<0,05). Hasil kerapatan tumpukan *Cassamore* yang berbentuk tepung tersebut merupakan karena bahan yang berbentuk tepung atau bubuk. Nilai kerapatan tumpukan bahan berbentuk bubuk umumnya 300-800 kg m⁻³. Faktor yang mempengaruhi nilai kerapatan tumpukan adalah ukuran partikel dan kadar air (Jaelani et al. 2016).

Tabel 8 Hasil analisis sifat fisik jagung, *Cassamore* sebelum diekstrusi dan *Cassamore* yang paling optimal (suhu 100 °C dan kadar air 20%)

Parameter	Perlakuan		
	P0	P1	P2
KT (kg m ⁻³)	584,03±8,40 ^a	344,43±6,65 ^a	339,04±0,11 ^b
KPT (kg m ⁻³)	695,81±12,32 ^a	536,92±2,41 ^b	459,96±10,82 ^c
ST (°)	25,8±0,62 ^a	42,79±1,94 ^b	33,14±0,81 ^c
BJ (g cm ⁻³)	1,23±0,04 ^a	1,34±0,07 ^b	0,56±0,11 ^b

Notasi huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan nyata (p<0,05)

KT= kerapatan tumpukan, KPT= kerapatan pematatan tumpukan, ST= sudut tumpukan, BJ= berat jenis, P0= Jagung, P1= *Cassamore* sebelum ekstrusi, P2= *Cassamore* sesudah ekstrusi (suhu 100° C dan kadar air 20%)

Semakin besar ukuran partikel, maka kerapatan tumpukan semakin kecil. Semakin naik kadar air, semakin kecil nilai kerapatan tumpukannya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan pemadatan tumpukan (KPT) setiap perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan nilai tertinggi KPT pada jagung ($695,81 \text{ kg m}^{-3}$) diikuti oleh *Cassamore* yang tidak diekstrusi ($536,92 \text{ kg m}^{-3}$) dan terakhir *Cassamore* yang diekstrusi ($459,96 \text{ kg m}^{-3}$). Nilai KPT lebih tinggi dibandingkan nilai kerapatan tumpukan, karena adanya getaran atau goyangan pada uji fisik ini sehingga rongga udara pada partikel mengecil. Kerapatan pemadatan tumpukan berfungsi untuk memaksimalkan bobot bahan setiap satuan volume meningkat, yang dilakukan ketika pengisian bahan pakan ke dalam tempat yang ditempati diam, namun bergetar (Jaelani et al. 2016).

Nilai sudut tumpukan (ST) setiap perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan nilai terendah pada jagung ($25,8^\circ$), diikuti *Cassamore* yang diekstrusi ($33,14^\circ$), dan *Cassamore* yang tidak diekstrusi ($42,79^\circ$). *Cassamore* perlakuan ekstrusi mampu menurunkan sudut tumpukan dari bahan sebelum diekstrusi ($p < 0,05$), sehingga membantu mempermudah proses produksi maupun pengadaan bahan industri. Sudut tumpukan yang kecil akan mempermudah di dalam industri pakan seperti kecepatan dan efisiensi proses pengosongan silo vertikal untuk memindahkan bahan menuju pencampuran bahan atau penimbangan bahan, mempermudah pengangkutan, mempermudah pengisian silo vertikal. Sudut tumpukan, juga berfungsi untuk mendesain corong pemasukkan atau hopper, karena sudut kemiringan dinding *hopper* harus lebih besar sudut tumpukan untuk memastikan aliran tidak terhambat (Jan et al. 2015). Efisiensi proses tersebut karena kemampuan bahan mengalir (*flowability*) yang ditentukan oleh sifat sudut tumpukan suatu bahan (Syamsu 2007). Laju aliran bahan menurut sudut tumpukannya digolongkan menjadi 5 yaitu sudut $25-30^\circ$ sangat mudah mengalir, sudut $30-38^\circ$ mudah mengalir, sudut $38-45^\circ$ sedang, sudut $45-55^\circ$ sulit mengalir, dan lebih dari sudut 5 sangat sulit mengalir (Fasina & Sokhansaj 1993). Laju alir berdasarkan sudut tumpukannya jagung tergolong ke dalam bahan yang sangat mudah mengalir, *Cassamore* tidak diekstrusi tergolong bahan yang sedang, dan *Cassamore* diekstrusi termasuk bahan yang mudah mengalir. Faktor yang mempengaruhi nilai sudut tumpukan adalah ukuran partikel. Semakin besar ukuran partikel, maka sudut tumpukan akan semakin besar. Faktor yang mempengaruhi nilai sudut tumpukan yaitu ukuran, bentuk, dan karakteristik partikel, serta kandungan air, berat jenis, dan kerapatan tumpukan (Retnani et al. 2011).

Hasil analisis ANOVA berat jenis menunjukkan bahwa perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$). *Cassamore* diekstrusi lebih kecil dibandingkan yang tidak diekstrusi.

Cassamore dibandingkan jagung berat jenisnya lebih kecil dan berbeda nyata ($p < 0,05$). Hukum *Archimedes* yang mendasari uji berat jenis menunjukkan benda terapung jika berat jenis lebih kecil daripada berat jenis zat cair. Nilai berat jenis *Cassamore* perlakuan ekstrusi yaitu $0,56$ yang tergolong mengapung. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kandungan pati yang tinggi (70% singkong dalam formulasi ransum) telah terdegradasi oleh proses ekstrusi yang terjadi pengadukan bahan di suhu tinggi sehingga bahan mengembang, rusak, dan pecah serta menurunnya serat kasar. Produk ekstrusi yang dapat mengapung minimal mengandung 20% pati dalam formulasi bahan ekstrusi. Berat jenis berfungsi untuk menentukan ketelitian dalam proses penakaran otomatis yang terjadi pada proses pengemasan maupun pengeluaran dari silo ke proses selanjutnya (Mesquita et al. 2013). Semakin besar berat jenis bahan, maka semakin besar kapasitas ruang penyimpanan dan mempermudah proses pengangkutan Khalil (1999).

Sifat Kimia

Analisis yang digunakan untuk sifat kimia dengan menguji komposisi nutrisi berupa kadar air, protein kasar, lemak kasar, serat kasar, dan BETN terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9 menunjukkan perlakuan ekstrusi dapat menurunkan kandungan abu dari $3,32\%$ menjadi $2,52\%$ dan kadar abu ekstrusi di atas kadar abu di jagung. *Cassamore* lebih tinggi diduga karena kandungan Ca dan abu daun kelor yang tinggi.

Protein kasar pada jagung sebesar $7,26\%$. Ekstrusi menurunkan kandungan protein kasar pada *Cassamore* dari $7,66\%$ menjadi $6,36\%$. Hal ini diduga karena terjadinya denaturasi protein yang disebabkan suhu. Denaturasi protein merupakan molekul protein yang mengalami perubahan pada strukturnya tanpa terjadi pemecahan ikatan kovalen dan terjadi karena disebabkan suhu, pH, campuran kimia, alkohol, aliran listrik, agen pereduksi, dan tekanan (Erianti et al. 2015).

Tabel 9 Hasil analisis sifat kimia *Cassamore* berdasarkan *dry matter basis*

Peubah (%)	Perlakuan		
	P0	P1	P2
Abu	1,78	3,32	2,52
Protein kasar	7,26	7,66	6,36
Lemak kasar	3,02	3,40	2,32
Serat kasar	2,38	6,54	4,01
BETN	85,55	79,09	84,78

Hasil analisis Laboratorium *Biotech Center* IPB University (2023)

P0= Jagung, P1= *Cassamore* sebelum diekstrusi, P2= *Cassamore* sesudah ekstrusi (suhu 100°C dan kadar air 20%)

Suhu yang tinggi memperbesar energi kinetic, menyebabkan molekul penyusun protein bergetar atau bergerak sangat cepat sehingga merusak ikatan hidrogen molekul tersebut (Ryu & Walker 1995).

Tabel 9 menunjukkan adanya perlakuan ekstrusi dapat menurunkan kandungan lemak kasar dari 3,40% menjadi 2,32%. Kandungan lemak kasar *Cassamore* setelah ekstrusi lebih rendah daripada jagung (3,02%). Hal ini diduga dikarenakan adanya pembentukan senyawa kompleks lipid dan gesekan selama ekstrusi berlangsung. Monoliserida dan asam lemak bebas membentuk kompleks dengan amilosa selama proses ekstrusi, yang mengakibatkan lemak sulit diekstrak pelarut organik (Bjorck & Asp 1983). Suhu tinggi, tekanan, dan pencampuran yang ditemui dalam proses ekstrusi menghasilkan oksidasi lipid tak jenuh dan menghasilkan hidroperoksida lipid, produk pemecahan ini dapat menyerang protein untuk membentuk ikatan kovalen, sehingga karena adanya interaksi protein dan lemak pada suhu tinggi, menyebabkan kandungan lemak pada ekstrudat menurun (Tumuluru et al. 2013)

Serat kasar *Cassamore* pada perlakuan ekstrusi dapat menurunkan dari 6,54% menjadi 4,01%. Hal ini diduga karena pengaruh suhu ekstrusi yang tinggi. Menurut Sipayung et al. (2015) dinding sel terurai selama proses pengolahan dan lama pengeringan juga menyebabkan kadar serat kasar turun. Serat kasar pada *Cassamore* ekstrusi diatas jagung (2,38%).

BETN *Cassamore* yang diekstrusi dapat meningkatkan kandungannya dari 79,09% menjadi 84,78%. Kandungan BETN *Cassamore* setelah ekstrusi (84,78%) dibawah jagung (85,55%) dengan selisih hanya 0,77%. BETN *Cassamore* diekstrusi meningkat karena akibat proses pemecahan pati atau gelatinisasi karbohidrat yang dapat menurunkan serat kasar dan menaikkan kandungan BETN.

SIMPULAN

Cassamore (campuran singkong daun kelor) berpotensi menggantikan jagung. Nilai water absorption index (WAI) dipengaruhi oleh proses ekstrusi signifikan pada suhu optimal 100 °C dan kadar air 20%, sedangkan nilai water solubility index (WSI) tidak signifikan. Nilai WAI dan WSI *Cassamore* ekstrusi lebih besar daripada *Cassamore* sebelum ekstrusi dan jagung. Nilai Kerapatan tumpukan (KT), Kerapatan pepadatan tumpukan (KPT), Sudut tumpukan (ST), Berat jenis (BJ) pada *Cassamore* sesudah diekstrusi lebih kecil daripada *Cassamore* yang sebelum diekstrusi. Nilai KT dan KPT pada *Cassamore* lebih rendah daripada jagung, sedangkan ST *cassamore* diatas jagung. Nilai BJ *Cassamore* sesudah diekstrusi dibawah jagung. Sifat kimia baik Abu, protein kasar, lemak kasar dan serat kasar relatif mengalami penurunan bila dibandingkan sebelum dengan setelah

proses ekstrusi, sedangkan BETN meningkat setelah diekstrusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu OA, Olaleru LF, Oke TD, Adepegba VA & Usman B. 2014. Performance of broiler chicken fed diets containing cassava peel and leaf meals as replacements for maize and soya bean meal. *International Journal Science and Technology*. 4(4): 169-173.
- Aditama RS, Heri AS & Mutia R. 2021. Evaluation of nutrient and antioxidant activity on steam blanching of Moringa oleifera leaves. *In E3S Web of Conferences (Vol. 306)*. EDP Sciences. 306:1-7. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130604016>
- Augustine C, Midau A, Yakubu B, Yahaya SM, Kibon A & Udooyong AO. 2011. Effect of enzyme supplemented cassava peel meal (CPM) on carcass characteristics of broiler chickens. *International Journal Agriculture Sustain*. 3(1): 21-24.
- Bjorck I & NG Asp. 1983. The effects of extrusion cooking on nutritional value-A literature review. Di dalam: Jowitt, R (ed). *Extrusion cooking technology*. Elsevier applied science publishers, London. 2(1983): 281-308. doi: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(83\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0260-8774(83)90016-X)
- Chang'a EP, Abdallah ME, Ahiwe EU, Mbaga S, Zhu ZY, Fru-Nji F & de Iji PA, 2020. Replacement value of cassava for maize in broiler chicken diets supplemented with enzymes. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 33(7): 1126 - 1137.
- Dewayanti RE, Natsir MH & Sjoftan O. 2015. Pengaruh penggunaan onggok dan ampas tahu terfermentasi mix culture (*Aspergillus niger* dan *Rhizopus oligosporus*) sebagai pengganti jagung dalam pakan terhadap kualitas fisik daging ayam pedaging. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*. 10(1): 9-17. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2015.010.01.2>
- Erianti F, Marisa D & Suhartono E. 2015. Potensi antiinflamasi jus buah belimbing (*Averrhoa carambola* L.) terhadap denaturasi protein In Vitro. *Berkala Kedokteran*. 11(1):33-39. doi: <http://dx.doi.org/10.20527/jbk.v11i1.183>
- Fagbohun ED & Lawal OU. 2014. Mycoflora and nutrient analysis of sundried cassava chips (*Mannihot esculenta*) during storage. *Journal of Applied Bioscience*. (82): 8389-7402. doi: 10.4314/jab.v8i2i1.10.
- Fasina OD, Sokhansanj S. 1993. Effect of moisture on bulk handling properties of alfalfa pellets. *Journal Canada Agriculture Engeener*. 35(4): 269-272.
- Fiorda, FA, Soares Jr MS, da Silva FA, de Moura CMA & Grossmann MVE. 2015. Physical quality of snacks and technological properties of pre-gelatinized flours formulated with cassava starch and dehydrated cassava bagasse as a function of extrusion variables. *LWT-Food science and technology*. 62(2): 1112-1119.
- Ganjyal M, Hanna MA, Supprung P, Noomhorm & Jones D. 2006. Modeling Selected Properties of Extruded Rice Flour and Rice Starch by Neutral Networks and Statistics. *Cereal Chemistry*. 83(3): 223-227. doi: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0223>
- Gultom RJ, Sutrisno S & Budijanto S. 2014. Optimasi proses gelatinisasi berdasarkan respon surface methodology pada pencetakan beras analog dengan mesin twin roll. *Jurnal Penelitian Pertanian*. 11(2): 67-79.
- Jaelani A, Dharmawati S & Wacahyono. 2016. Pengaruh tumpukan dan lama masa simpan pakan pellet terhadap kualitas fisik. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*. 41(2): 261-268. doi: <http://dx.doi.org/10.31602/zmp.v41i2.429>
- Jan S, Rafiq SI & Saxena DC. 2015. Effect of physical properties on flow ability of commercial rice flour/powder for effective bulk handling. *International Journal of Computer Applications*. 975(8887): 1-5.
- Kementan. 2013. *Data Statistik Ketahanan Pangan tahun 2012*. Jakarta (ID): Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian 2013.
- Khalil. 1999. Pengaruh kandungan air dan ukuran partikel terhadap perubahan perilaku fisik bahan pakan lokal: kerapatan tumpukan,

- kerapatan pemadatan tumpukan, dan berat jenis. *Media Peternakan* 22 (1) : 1–11
- Latif S & Joachim M. 2015. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology*. (44) 2: 147-158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>.
- Leonel M, Freitas TSD & Mischan MM. 2009. Physical characteristics of extruded cassava starch. *Scientia Agricola*. 66(4): 486-493. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000400009>
- Mampioper A, Rumetor SD & Pattiselanno F. 2008. Kualitas telur ayam petelur yang mendapat ransum perlakuan substitusi jagung dengan tepung singkong. *Ternak Tropika Journal of Tropical Animal Production*. 9(2): 42-51.
- Mesquita CDB, Leonel M & Mischan MM. 2013. Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Science and Technology*. 33(3): 404-410. doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000073>
- Mgbemena NM & Obodo GA. 2016. Comparative analysis of the proximate and mineral composition of moringa oleifera roots, leaves and seeds obtained in okigwe imo state Nigeria. *Journal Science Technology and Environmental Informatics*. 3(2): 207-212. doi: 10.18801/jstעי.030216.23
- Murningsih T, Yulita KS, Bora CY & Arsa IGBA. 2019. Kandungan proksimat dan mineral jagung varietas lokal (tunu'ana') dari Nusa Tenggara Timur. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 5(1): 107-111. doi: <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050120>. Surakarta (ID) : Universitas Sebelas Maret.
- Novikasari NAM & Muflihati I. 2022. Sifat fisik dan sensoris beras analog dari tepung cassava termodifikasi fisik yang disubstitusi dengan tepung kacang hijau. *Warta Industri Hasil Pertanian*. 39(2): 85-94.
- Oikonomou NA & Krokida MK. 2012. Water absorption index and water solubility index prediction for extruded food products. *International Journal of Food Properties*. 15(1): 157-168. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10942911003754718>
- Oikonomou NA & Krokida MK. 2011. Literature Data Compilation of WAI and WSI of Extrudate Food Products. *International Journal of Food Properties*, 14:1, 199-240, DOI: 10.1080/10942910903160422
- Oyeyinka AT, Oyeyinka SA. 2016. Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17(2):127-136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>
- Pasaribu T. 2018. Upaya meningkatkan kualitas bungkil inti sawit melalui teknologi fermentasi dan penambahan enzim. *Wartazoa*. 28 (3): 119-128. doi: <http://dx.doi.org/10.14334/wartazoa.v28i3.1820>
- Pérez-Santos DM, Velazquez G, Canonico-Franco M, Morales-Sanchez E, Gaytan-Martínez, M, Yañez-Limon JM & Herrera-Gomez A. 2016. Modeling the limited degree of starch gelatinization. *Starch-Stärke*. 68(7-8): 727-733. doi: <https://doi.org/10.1002/star.201500220>
- Rahmadani M, Hermana W & Nahrowi N. 2021. Pemberian tepung singkong yang ditambahkan isoamilase dalam pakan terhadap performa ayam broiler. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 19 (1): 1-5. doi: <https://doi.org/10.29244/jintp.19.1.1-5>
- Retnani Y, Herawati L & Khusniati S. 2011. Physical characteristics on crumble ration of broiler starter using tapioca, bentonite and onggok binders. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan*. 1(2): 88-97. doi: <https://doi.org/10.20956/jitp.v1i2.668>
- Risayahadi ST, Sukria HA, Retnani Y, Wijayanti I, Jayanegara A & Qomariyah N. 2023. Effects of dietary extrusion on the performance and apparent ileal digestion of broilers: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*. 22(1): 291-300. doi: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2184277>
- Riwayati I, Anam AC & Maharani F. 2020. Pengaruh suhu dan waktu proses modifikasi heat moisture treatment (hmt) pada tepung kulit singkong terhadap sifat kelarutan dan swelling power. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. 5(1): 50-55. doi: <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v5i1.3402>
- Ryu GH & Walker CE. 1995. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. *Starch-Stärke*. 47(1): 33-36. doi: <https://doi.org/10.1002/star.19950470109>
- Salata CDC, Leonel M, Trombini FRM & Mischan MM. 2014. Extrusion of blends of cassava leaves and cassava flour: physical characteristics of extrudates. *Food Science and Technology*. 34(3): 501-506. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6337>
- Sharif S, DiMemmo LM, Thommes M, Hubert M & Sarsfield BA. 2015. A simplified approach to determine effective surface area and porosity of low bulk density active pharmaceutical ingredients in early development. *Advanced Powder Technology*. 26(2): 337-348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2014.11.002>
- Sipayung M, Suparmi & Dahlia. 2015. Pengaruh suhu pengukusan terhadap sifat fisika kimia tepung ikan rucah. *Jurnal Online Mahasiswa*. 2(1):1-13.
- Sukria HA, Nugraha IES & Suci DM. 2018. Pengaruh proses steam pada daun kelor (*Moringa oleifera*) dan asam fulvat terhadap performa ayam broiler. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 16 (2): 1-9. doi: <https://doi.org/10.29244/jintp.16.2.1-9>
- Syamsu JA. 2007. Karakteristik fisik pakan itik bentuk pellet yang diberi bahan perekat berbeda dan lama penyimpanan yang berbeda. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran*. 7(2): 128-134. doi: <https://doi.org/10.24198/jit.v7i2.2246>
- Tumuluru JS, Sokhansanj S, Bandyopadhyay S & Bawa AS. 2013. Changes in moisture, protein, and fat content of fish and rice flour coextrudates during single-screw extrusion cooking. *Food and Bioprocess Technology*. 6. 403-415. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0764-7>
- Wiadnyani AAIS, Permana IDGM & Widarta IWR. 2017. Modifikasi pati keladi dengan metode autoclaving-cooling sebagai sumber pangan fungsional. *Scientific Journal of Food Technology*. 4(2): 94–102.
- Yadav KC, Pashupati M, Pramesh KD, Ranjit R, Ghanendra G & Sushil D. 2015. Effects of incorporation of cassava flour on characteristics of corn grit-rice grit-chickpea flour blend expanded extrudates. *African Journal of Food Science*. 9(8): 448-455. doi: <https://doi.org/10.5897/AJFS2014.1243>