

Karakteristik Beras Analog Berbasis Tepung Jagung Terfermentasi dengan Suplementasi Tepung Daun Kelor (*Moringa Oleifera*)

Dini Nastiti Anjarasri¹, Teti Estiasih²

¹Program Studi Pengembangan Produk Agroindustri, Jurusan Pertanian, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia

²Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Email: ¹dini@poliwangi.ac.id, ²teties@ub.ac.id

Abstract

Analog rice is an alternative food developed from non-rice ingredients to diversify carbohydrate sources. This study examine the physical, chemical, and organoleptic characteristics of analog rice based on fermented corn flour with supplementation of Moringa oleifera leaf flour. The fermentation process on corn flour is intended to improve the functional properties of corn and enhance the quality of analog rice. The product formulation was carried out using a factorial Randomized Complete Block Design (RCBD) with two factors: the proportion of fermented corn flour to rice flour (60:40, 70:30, 80:20) and sodium alginate concentration (1%, 2%, 3%). Moringa leaf flour was supplemented at 0%, 10%, and 20%. The results indicated that the addition of fermented corn flour decreased brightness (L^) while increasing redness (a^*) and yellowness (b^*) of the product. Moringa supplementation increased protein and ash content but decreased carbohydrate and starch levels. Based on organoleptic tests, the best treatment was obtained from a combination of 70:30 fermented corn flour to rice flour, 3% sodium alginate, and 10% Moringa supplementation, producing analog rice with characteristics most similar to conventional rice. This study contributes to the development of nutritious and functional analog rice by utilizing local ingredients with great potential to enhance food security.*

Keywords: Analog Rice, Fermented Corn Flour, Moringa Leaf, Physicochemical Characteristics, Functional Food.

Abstrak

Beras analog merupakan alternatif pangan yang dikembangkan dari bahan non-beras untuk mendiversifikasi sumber karbohidrat. Penelitian ini mengkaji karakteristik fisik, kimia, dan organoleptik beras analog berbasis tepung jagung terfermentasi dengan suplementasi tepung daun kelor (*Moringa oleifera*). Proses fermentasi pada tepung jagung bertujuan untuk meningkatkan sifat fungsional jagung dan kualitas beras analog. Formulasi produk dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu proporsi tepung jagung terfermentasi terhadap tepung beras (60:40, 70:30, 80:20) dan konsentrasi natrium alginat (1%, 2%, 3%). Suplementasi tepung daun kelor dilakukan pada tingkat 0%, 10%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tepung jagung terfermentasi mengurangi tingkat kecerahan (L^*) namun meningkatkan tingkat kemerahan (a^*) dan kekuningan (b^*) produk. Suplementasi daun kelor meningkatkan kadar protein dan abu, namun menurunkan kadar karbohidrat dan pati. Berdasarkan uji organoleptik, kombinasi proporsi tepung jagung terfermentasi 70:30, 3% Na-alginat, dan 10% suplementasi tepung daun kelor menghasilkan beras analog dengan karakteristik fisik dan sensorik yang paling mirip dengan beras konvensional. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan beras analog yang bergizi dan fungsional, dengan memanfaatkan bahan lokal yang memiliki potensi besar untuk meningkatkan ketahanan pangan.

Kata Kunci: Beras Analog, Tepung Jagung Terfermentasi, Tepung Daun Kelor, Karakteristik Fisik-Kimia, Pangan Fungsional.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat Indonesia terhadap beras sebagai makanan pokok sangat tinggi. Data Badan Pangan Nasional (2024) mencatat bahwa konsumsi beras nasional pada tahun 2023 mencapai 93,8 kg per kapita per tahun. Meskipun produksi dalam negeri terus diupayakan untuk memenuhi permintaan, kekhawatiran terhadap potensi defisit beras nasional tetap menjadi isu strategis, terutama di tengah fluktuasi iklim dan ketergantungan terhadap pola tanam padi. Oleh karena itu, pengembangan beras analog sebagai alternatif pengganti beras padi menjadi salah satu solusi potensial yang layak dikembangkan.

Jagung merupakan sumber karbohidrat lokal terbesar kedua di Indonesia setelah beras, dan memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku utama dalam pembuatan beras analog. Namun demikian, sifat fisikokimia jagung perlu dimodifikasi agar dapat menghasilkan produk analog dengan mutu fungsional dan karakteristik sensorik yang mendekati beras padi. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah fermentasi. Penelitian oleh Qi *et al.* (2020) menunjukkan bahwa fermentasi menyebabkan terjadinya peningkatan daya mengembang, kelarutan, kapasitas ikatan air, dan transmittansi cahaya tepung jagung.

Selain melalui fermentasi, peningkatan mutu beras analog juga dapat dicapai dengan menambahkan bahan lain yang kaya akan manfaat fungsional seperti tepung daun kelor (*Moringa oleifera*). Penelitian oleh Wahyuningsih *et al.* (2023) menunjukkan bahwa penambahan tepung daun kelor dalam pembuatan beras analog dapat meningkatkan kandungan serat total, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas gizi produk tersebut. Selain itu, substitusi tepung daun kelor juga mempengaruhi sifat sensorik beras analog, terutama dalam hal warna dan tekstur.

Penambahan natrium alginat menjadi salah satu solusi untuk memperbaiki sifat fisik dan karakter dari beras analog. Ji *et al.* (2024) melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi natrium alginat dalam sistem pati jagung mampu menurunkan laju pembengkakan (*swelling*) dan meningkatkan kadar pati resisten, yang secara langsung mendukung stabilitas dan struktur gel pada produk akhir. Selain itu, tepung beras juga digunakan dalam formulasi untuk mencegah aglomerasi dan lengketnya butiran analog. Xu *et al.* (2020) menunjukkan bahwa kandungan amilosa dalam tepung beras berkorelasi positif terhadap *peak viscosity* dan *final viscosity*, yang pada akhirnya memengaruhi tekstur kenyal serta daya tahan terhadap kerusakan fisik pada produk analog. Ronie dan Hasmadi (2022) juga menegaskan bahwa interaksi antara pati, protein, dan lipid dalam tepung beras turut mempengaruhi suhu gelatinisasi, kapasitas pengembangan, dan kemampuan retrogresi, yang semuanya memengaruhi viskositas dan kestabilan gel. Viskositas yang optimal penting untuk memastikan butiran beras analog memiliki bentuk yang seragam, tidak retak, serta memiliki tekstur dan rehidrasi yang menyerupai beras padi saat dimasak.

Beras analog pada penelitian ini diformulasi dari kombinasi tepung jagung terfermentasi dan tepung beras dengan penambahan natrium alginat sebagai bahan pengikat, serta suplementasi tepung daun kelor untuk memperkaya nilai gizi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi proporsi tepung jagung terfermentasi, konsentrasi natrium alginat, dan tingkat suplementasi tepung daun kelor terhadap sifat fisikokimia dan sensorik beras analog. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan formulasi terbaik berdasarkan indeks efektivitas yang diperoleh dari kombinasi perlakuan tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap utama. Tahap pertama adalah optimasi formulasi beras analog dengan kombinasi berbagai rasio tepung jagung terfermentasi dan tepung beras serta konsentrasi natrium alginat. Tahap kedua adalah suplementasi terhadap formulasi terbaik dari tahap pertama dengan tepung daun kelor pada konsentrasi 0%, 10%, dan 20%. Analisis dilakukan terhadap parameter fisik, kimia, dan organoleptik.

2.2 Rancangan dan Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam dua tahap:

Tahap I: Pembuatan Beras Analog menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor:

Faktor I: Rasio Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras

T1: 70:30

T2: 80:20

T3: 90:10

Faktor II: Konsentrasi Na-alginat (berdasarkan berat total tepung)

A1: 1%

A2: 2%

A3: 3%

Setiap kombinasi diulang tiga kali (27 satuan percobaan).

Tahap II: Suplementasi tepung daun kelor formulasi terbaik dari Tahap I ditambahkan tepung daun kelor dengan konsentrasi 0%, 10%, dan 20%, menggunakan Rancangan Tersarang. Produk dianalisis secara fisik dan sensorik.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan membuat tepung jagung. Proses penepungan jagung dimulai dengan penyortiran dan penggilingan jagung menjadi grits. Selanjutnya, grits direndam dalam akuades dengan perbandingan 1:2 (b/v) selama 72 jam untuk mempermudah proses pengolahan. Setelah perendaman, grits dicuci bersih dan dikeringkan. Tahap berikutnya adalah penggilingan dan pengayakan menggunakan ayakan 60 mesh untuk menghasilkan tepung terfermentasi yang halus. Terakhir, dilakukan analisis proksimat untuk menentukan kadar air, abu, lemak, protein, pati, dan karbohidrat guna memastikan kualitas tepung yang dihasilkan. Tepung jagung yang telah dianalisa kemudian digunakan untuk pembuatan beras analog.

Proses pembuatan tepung daun kelor dimulai dengan pemisahan daun dari batang, kemudian dilanjutkan dengan blansir selama 5 menit untuk mempertahankan nutrisi. Selanjutnya, daun dikeringkan selama 3–4 jam, dihaluskan, dan diayak menggunakan saringan 80 mesh untuk mendapatkan tepung yang halus. Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui komposisi nutrisi tepung, dengan metode yang sama seperti sebelumnya. Tepung daun kelor kemudian digunakan dalam pembuatan beras analog suplementasi kelor dengan menembarkannya ke dalam formulasi terbaik dari tahap I. Setelah pencampuran, adonan dikeringkan dan diuji lebih lanjut untuk mengevaluasi kualitas fisik, kimia, dan organoleptiknya.

Pembuatan beras analog diawali dengan pembuatan emulsi menggunakan bahan-bahan seperti *glycerol monostearate* (GMS), *sodium tripolyphosphate* (STPP), minyak, titanium dioksida (TiO₂), dan natrium alginat yang dilarutkan dalam akuades. Emulsi tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 5 menit untuk mencapai stabilitas yang diinginkan. Selanjutnya, emulsi yang telah dipanaskan dicampur dengan tepung

jagung terfermentasi dan tepung beras, lalu diuleni hingga mencapai adonan yang kalis. Adonan kemudian dicetak menyerupai bentuk beras, dikukus pada suhu 100°C selama 10 menit, dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 3,5 jam untuk mengurangi kadar air. Tahap terakhir melibatkan analisis fisik dan uji organoleptik untuk mengevaluasi kualitas beras analog yang dihasilkan.

Beras analog yang dihasilkan kemudian dimasak. Tahapannya yaitu diawali beras analog direbus dengan perbandingan 1:2 (beras terhadap air) hingga seluruh air terserap sempurna. Setelah itu, beras yang telah direbus dikukus selama sekitar 30 menit untuk memastikan teksturnya matang secara merata. Terakhir, nasi analog yang dihasilkan diuji secara organoleptik untuk mengevaluasi warna, tekstur, dan rasanya guna memastikan kualitasnya sesuai dengan standar yang diharapkan.

2.4 Analisa Data

Data yang diperoleh dianalisa secara statistik menggunakan analisa ragam (ANOVA) dengan tingkat kepercayaan 5%. Dilanjutkan dengan uji DMRT. Data yang tidak memiliki interkasi antara kedua faktor dilanjutkan dengan uji BNT dengan tingkat kepercayaan 5%. Data hasil uji organoleptik dan fisik dianalisa menggunakan uji Hedonic Scale Scoring, Penentuan perlakuan terbaik menggunakan indeks efektifitas *De Garmo*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Bahan Baku

Hasil analisis kimia terhadap kedua bahan baku menunjukkan kandungan utama yang signifikan, seperti kadar abu, kadar air, kadar lemak, kadar protein, pati, dan karbohidrat. Tepung jagung terfermentasi memiliki kandungan pati tertinggi, yaitu sebesar 80,9%, yang hampir seluruhnya terdiri dari pati, sedangkan kadar pati pada tepung jagung non-fermentasi lebih rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa proses fermentasi pada tepung jagung berperan penting dalam meningkatkan kualitas fungsional dan fisik produk analog. Fermentasi, terutama dengan menggunakan bakteri asam laktat dan ko-kultur, secara signifikan mengubah sifat reologi adonan jagung, meningkatkan retensi air, dan memperbaiki sifat pengelatinan pati (Ilwefah *et al.*, 2021). Fermentasi pada tepung jagung terfermentasi menyebabkan penurunan nilai kecerahan (L^*), namun meningkatkan nilai kemerahan (a^*) dan kekuningan (b^*), yang sejalan dengan temuan oleh Hernandez-Hernandez *et al.* (2019). Fermentasi dapat mengubah struktur pati dan memperbaiki tekstur makanan, sehingga meningkatkan kualitas sensorik dan gizi produk akhir.

Perbedaan kadar pati dalam tepung jagung terfermentasi dapat dijelaskan oleh variasi tipe jagung yang digunakan dalam penelitian ini. Menurut Imelda *et al.* (2023), modifikasi fisik, kimia, dan enzimatis pada tepung jagung dapat meningkatkan kandungan pati resisten, yang tidak dapat dicerna oleh enzim amilase manusia, dan mengubah struktur pati menjadi gula reduksi. Proses fermentasi alami yang melibatkan bakteri amilolitik dapat menurunkan kadar pati dalam tepung jagung, serupa dengan temuan dalam penelitian ini, di mana fermentasi mengubah sebagian besar pati menjadi gula yang lebih mudah dicerna (Imelda *et al.*, 2023). Selain itu, tepung daun kelor yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan protein yang tinggi, yaitu 18,57%, yang berfungsi sebagai sumber protein nabati dalam produk beras analog. Perbedaan kadar protein pada tepung daun kelor dari berbagai daerah juga dipengaruhi oleh teknik pengolahan awal, yang dapat meningkatkan kandungan sterol pada produk akhir.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bahan Baku (Per Berat Kering)

Parameter	Bahan Baku			
	Tepung Jagung Non Fermentasi (literatur)	Tepung Jagung Terfermentasi (literatur)	Tepung Jagung Terfermentasi	Tepung Daun Kelor
Kadar Abu (%)	1,00 *)	0,40	0,41	10,73
Kadar Air (%)	9,70 *)	11,32	7,13	7,23
Kadar Lemak (%)	3,60 *)	3,46	5,47	7,71
Kadar Protein (%)	8,40 *)	8,78	6,10	18,57
Kadar Pati (%)	71,3 **)	71,49	72	1,35
Kadar Karbohidrat (%)	75,10 *)	76,04	80,9	56,29

Sumber : Aini (2009); *) Suarni dan Firmansyah (2005); **) Inglett (1987)

3.2 Karakteristik Fisik dan Organoleptik Beras Analog

Penelitian ini berfokus pada pengembangan beras analog dengan menggunakan tepung jagung terfermentasi yang dipadukan dengan tepung beras dan Na-alginat. Proses pengembangan beras analog melibatkan pengujian berbagai parameter fisik dan organoleptik, termasuk tingkat kecerahan, kemerahan, kekuningan, pengembangan volume, *cooking time*, dan daya rehidrasi.

3.2.1 Parameter Tingkat Kecerahan

Tingkat kecerahan merupakan salah satu parameter kunci yang diamati dalam penelitian ini. Tabel 2 menyajikan hasil analisis ragam untuk menguji pengaruh perlakuan terhadap variasi nilai kecerahan. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk mengevaluasi efektivitas perlakuan dalam memodifikasi tingkat kecerahan sampel.

Tabel 2. Analisa Ragam Parameter Tingkat Kecerahan

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan
Perlakuan	8	13.23	1.65	15.84	2.51	*
T	2	2.88	1.44	13.80	3.55	*
A	2	10.17	5.09	48.70	3.55	*
TA	4	0.18	0.05	0.43	2.93	tn
Kekeliruan(Galat)	18	1.88	0.10			
Total	26	15.11				

FK 62766.05

Keterangan : * = signifikan ($F_{hit} \geq F_{tabel}$)

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan tingkat kecerahan. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Rerata Tingkat Kecerahan (L^*) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	Rerata Tingkat Kecerahan (L^*)	BNT ($\alpha=0,05$)
70:30	49,07 c	
80:20	47,93 b	0,15
90:10	47,64 a	

Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan
 2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

Pada penelitian ini, tingkat kecerahan (L)* beras analog menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya proporsi tepung jagung terfermentasi. Pada proporsi 70:30, tingkat kecerahan beras analog tercatat sebesar 49,07, yang menurun menjadi 47,64 pada proporsi 90:10. Penurunan ini disebabkan oleh warna alami tepung jagung terfermentasi yang cenderung lebih gelap dan kuning, yang mengarah pada penurunan tingkat kecerahan produk akhir. Metode pengolahan jagung, termasuk fermentasi, dapat mempengaruhi kandungan karotenoid secara signifikan, terutama β -karoten, yang bertanggung jawab atas warna kuning pada produk berbasis jagung seperti beras analog. Hal ini menunjukkan potensi tepung jagung terfermentasi dalam meningkatkan atribut gizi dan warna pada produk beras analog." (Yenrina *et al.*, 2020). Penambahan Na-alginat yang berwarna kecoklatan lebih lanjut memperburuk kecerahan beras analog yang memiliki beberapa komponen alami dalam bahan baku yang berperan besar dalam mempengaruhi tingkat kecerahan beras analog.

3.2.2 Parameter Tingkat Kemerahan

Tingkat kecerahan merupakan salah satu parameter kunci yang diamati dalam penelitian ini. Tabel 4 menyajikan hasil analisis ragam (ANOVA) untuk menguji pengaruh perlakuan terhadap variasi nilai kemerahan. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk mengevaluasi efektivitas perlakuan dalam memodifikasi tingkat kemerahan sampel.

Tabel 4. Analisa Ragam Parameter Tingkat Kemerahan

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan	FK 13844.81
Perlakuan	8	22.80	2.85	147.98	2.51	*	
T	2	1.93	0.96	50.08	3.55	*	
A	2	20.38	10.19	529.15	3.55	*	
TA	4	0.49	0.12	6.35	2.93	*	
Kekeliruan (Galat)	18	0.35	0.02				
Total	26	23.15					

Keterangan : * = signifikan ($F_{hit} \geq F_{tab}$)

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan tingkat kemerahan. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Rerata Tingkat Kemerahan (a*) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras dan Penambahan Na-Alginat

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	Na-Alginat (%)	Rerata Tingkat Kemerahan (a*)	DMRT ($\alpha=0,05$)
70:30	1	21,40 a	0,24
	2	21,53 a	0,25
	3	21,60 a	0,26
80:20	1	22,33 b	0,26
	2	22,83 c	0,27
	3	23,23 e	0,27
90:10	1	23,13 d	0,27
	2	23,77 f	0,27
	3	23,97 g	0,27

Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan

2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

Tingkat kemerahan (a)* beras analog, yang berhubungan dengan intensitas warna merah pada produk, meningkat seiring dengan penambahan tepung jagung terfermentasi dan Na-alginat. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada proporsi 90:10, tingkat kemerahan mencapai 23,13, lebih tinggi dibandingkan dengan proporsi lainnya. Penambahan tepung jagung pada campuran tepung komposit untuk produksi beras analog memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia produk akhir, termasuk warna, tekstur, dan pengembangan volume. Jagung yang digunakan dalam campuran tepung komposit mengandung senyawa alami, termasuk xantofil, yang dapat berkontribusi pada peningkatan warna kemerahan dan kekuningan produk beras analog (Sumardiono, S., *et al.*, 2021). Penambahan Na-alginat, yang memiliki interaksi dengan pigmen pada tepung jagung, dapat memperkuat warna kemerahan pada produk akhir, seperti yang juga dilaporkan dalam penelitian oleh McHugh (2003).

3.2.3 Parameter Tingkat Kekuningan

Tingkat kekuningan (b)* beras analog mengalami peningkatan yang signifikan dengan bertambahnya proporsi tepung jagung terfermentasi. Pada proporsi 70:30 dan penambahan Na-alginat 1%, tingkat kekuningan tercatat sebesar 33,40, yang meningkat menjadi 33,80 pada proporsi 90:10. Hasil ini didukung oleh penelitian Suarni (2009) yang menunjukkan bahwa β -karoten dan pigmen lainnya dalam tepung jagung terfermentasi memberikan warna kuning yang semakin intens pada produk beras analog. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Alamu *et al.* (2021), ditemukan bahwa tepung jagung kuning yang kaya akan lutein dan zeaxanthin memberikan warna kuning pada produk olahan, yang mempertegas warna kekuningan pada hasil akhir produk berbasis tepung jagung (Alamu *et al.*, 2021).

Tabel 6. Analisa Ragam Parameter Tingkat Kekuningan

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan
Perlakuan	8	5.16	0.65	56.14	2.51	*
T	2	3.36	1.68	146.36	3.55	*
A	2	1.62	0.81	70.58	3.55	*
TA	4	0.18	0.04	3.81	2.93	*
Kekeliruan(Galat)	18	0.21	0.01			
Total	26	5.36				

FK 31327.71

Keterangan : * = signifikan ($F_{hit} \geq F_{tab}$)

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan tingkat kekuningan. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 7. Rerata Tingkat Kekuningan (b*) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras dan Penambahan Na-Alginat

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	Na-Alginat (%)	Rerata Tingkat Kekuningan (b*)	DMRT ($\alpha=0,05$)
70:30	1	33,40 a	0,18
	2	33,70 c	0,20
	3	34,20 e	0,21
80:20	1	33,60 b	0,19
	2	34,20 f	0,21
	3	34,37 g	0,21

90:10	1	33,80 d	0,20
	2	34,50 h	0,21
	3	34,80 i	0,21

Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan
 2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

3.2.4 Parameter Pengembangan Volume

Pada hasil pengembangan volume, penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan volume beras analog meningkat secara signifikan dengan bertambahnya proporsi tepung jagung terfermentasi dan penambahan Na-alginat. Pada proporsi 90:10, pengembangan volume mencapai 95,54%, yang menunjukkan kemampuan beras analog untuk mengembang lebih baik dengan peningkatan amilosa dalam tepung jagung terfermentasi. McHugh (2003) menyatakan bahwa Na-alginat berfungsi sebagai pengikat yang memperbaiki kemampuan produk untuk menyerap air, yang berdampak pada peningkatan pengembangan volume. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Na-alginat tidak hanya mempengaruhi warna, tetapi juga tekstur dan pengembangan produk akhir. Penambahan natrium alginat memengaruhi struktur dan stabilitas adonan beras analog. Ji *et al.* (2024) menemukan bahwa peningkatan konsentrasi natrium alginat dalam sistem pati memperkuat struktur gel, meningkatkan kadar pati resisten, serta menurunkan laju pembengkakan, yang juga dibuktikan dalam penelitian ini. Konsentrasi 3% natrium alginat menunjukkan hasil terbaik dalam mendukung integritas fisik beras analog, dengan memberikan struktur yang lebih kokoh dan stabil. Hasil ini mendukung temuan sebelumnya bahwa natrium alginat berfungsi sebagai pengikat dan meningkatkan tekstur produk berbasis pati (Ji *et al.*, 2024).

Tabel 8. Analisa Ragam Parameter Pengembangan Volume

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan	FK	172315.54
Perlakuan	8	2059.88	257.48	444.80	2.51	*		
T	2	883.11	441.55	762.77	3.55	*		
A	2	1097.52	548.76	947.97	3.55	*		
TA	4	79.25	19.81	34.23	2.93	*		
Kekeliruan(Galat)	18	10.42	0.58					
Total	26	2070.30						

Keterangan : * = signifikan ($F_{hit} \geq F_{tab}$)

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan pengembangan volume. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Rerata Pengembangan Volume (%) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras dan Penambahan Na-Alginat

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	Na-Alginat (%)	Rerata Tingkat Pengembangan Volume (%)	DMRT ($\alpha=0,05$)
70:30	1	69,99 a	1,31
	2	70,77 a	1,37
	3	81,05 d	1,47
80:20	1	70,85 a	1,41
	2	74,22 b	1,44
	3	85,93 e	1,49
90:10	1	80,34 c	1,46
	2	90,31 f	1,50
	3	95,54 g	1,50

Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan
 2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

3.2.5 Parameter *Cooking Time*

Hasil dari waktu memasak (*cooking time*) beras analog pada penelitian ini menunjukkan bahwa waktu memasak meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi tepung jagung terfermentasi. Pada proporsi 90:10, waktu memasak beras analog tercatat selama 29,63 menit. Lacerda, *et al* (2023) menyatakan bahwa pati jagung memiliki suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati dari sumber lain, yang menyebabkan proses gelatinisasi berlangsung lebih lama, dan dengan demikian memperpanjang waktu yang dibutuhkan untuk memasak. Na alginat terbukti membantu mempercepat proses memasak, dengan penambahan 3% Na-alginat mengurangi waktu memasak menjadi 26,51 menit. Xu *et al.* (2023) menemukan bahwa penambahan natrium alginat pada produk berbasis pati dapat mempercepat waktu memasak dengan meningkatkan kemampuan produk untuk menyerap air, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi gelatinisasi pati. Xu juga mencatat bahwa penggunaan Na-alginat dalam proses ini membantu mempertahankan struktur produk serta mengurangi kehilangan pati selama proses memasak.

Tabel 10. Analisa Ragam Parameter *Cooking Time*

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan
Perlakuan	8	128.76	16.09	23.74	2.51	*
T	2	15.45	7.73	11.40	3.55	*
A	2	112.63	56.31	83.05	3.55	*
TA	4	0.68	0.17	0.25	2.93	tn
Kekeliruan(Galat)	18	12.21	0.68			
Total	26	140.96				

FK 20181.84

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan *cooking time*. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 11. Rerata *Cooking Time* (menit) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	<i>Cooking Time</i> (menit)	BNT ($\alpha=0,05$)
70:30	24,67 a	
80:20	27,71 b	0,95
90:10	29,63 c	

Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan
 2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

3.2.6 Parameter *Daya Rehidrasi*

Penelitian pada daya rehidrasi beras analog menunjukkan hasil yang konsisten dengan penelitian sebelumnya. Pada proporsi 90:10 dengan Na-alginat 3%, daya rehidrasi mencapai 342,00%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan proporsi lainnya. Penambahan tepung jagung terfermentasi, yang kaya akan pati dan serat, memberikan kemampuan beras analog untuk menyerap lebih banyak air. Penambahan Na-alginat turut mempercepat proses rehidrasi beras analog, yang sesuai dengan temuan McHugh (2003) yang mencatat bahwa Na-alginat meningkatkan kemampuan produk untuk menyerap air melalui pembentukan gel yang memperbaiki struktur dan konsistensi produk.

Tabel 12. Analisa Ragam Parameter Daya Rehidrasi

Sumber variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel $\alpha = 0.05$	Keterangan
Perlakuan	8	14050.96	1756.37	1354.91	2.51	*
T	2	4900.52	2450.26	1890.20	3.55	*
A	2	8333.85	4166.93	3214.49	3.55	*
TA	4	816.59	204.15	157.49	2.93	*
Kekeliruan(Galat)	18	23.33	1.30			
Total	26	14074.30				

FK 2307971.704

Nilai F-hitung yang diperoleh melebihi F-tabel, mengindikasikan bahwa variasi perlakuan memberikan dampak nyata terhadap perubahan daya rehidrasi. Hasil tersebut diuji lanjut pada Tabel 13 sebagai berikut.

Tabel 13. Rerata Daya Rehidrasi (%) Beras Analog Akibat Perlakuan Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras dan Penambahan Na-Alginat

Proporsi Tepung Jagung Terfermentasi : Tepung Beras (%)	Na-Alginat (%)	Rerata Daya Rehidrasi (%)	DMRT ($\alpha=0,05$)
70:30	1	265,67 a	1,95
	2	274,00 c	2,11
	3	292,00 f	2,21
80:20	1	271,00 b	2,05
	2	285,00 d	2,15
	3	292,67 g	2,22
90:10	1	291,00 e	2,18
	2	318,00 h	2,24
	3	342,00 i	2,25

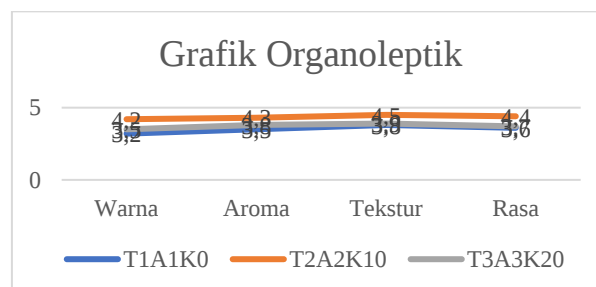
Keterangan : 1. Setiap data merupakan rerata dari 3 kali ulangan
 2. Angka yang didampingi huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($\alpha=0,05$)

3.2.7 Parameter Organoleptik

Penilaian organoleptik dilakukan untuk mengevaluasi tingkat penerimaan panelis terhadap atribut warna, aroma, tekstur, dan rasa dari beras analog yang diformulasikan. Uji hedonik ini menggunakan skala 1–5, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kesukaan yang lebih tinggi dari panelis. Hasil penilaian disajikan dalam Tabel 14, yang memperlihatkan bahwa perlakuan 2 memperoleh skor tertinggi pada semua parameter uji organoleptik, menunjukkan bahwa kombinasi rasio tepung 70:30, konsentrasi Na-alginat 3%, dan suplementasi 10% daun kelor memberikan produk yang paling disukai secara keseluruhan oleh panelis.

Tabel 14. Tabel Hasil Organoleptik

Perlakuan	Warna	Aroma	Tekstur	Rasa	Total Skor
T1A1K0	3,2	3,5	3,8	3,6	14,1
T2A2K10	4,2	4,3	4,5	4,4	17,4
T3A3K20	3,5	3,8	3,9	3,7	14,9



Gambar 1. Grafik Organoleptik

3.3 Karakteristik Kimia Beras Analog

Analisa kimia diperlakukan pada 3 jenis beras, yaitu beras analog terbaik, beras analog suplementasi tepung daun kelor 10% dan beras analog suplementasi tepung daun kelor 20%. Parameter beras analog yang dianalisa menggunakan analisa kimia meliputi kadar abu, kadar air, kadar lemak, kadar protein, kadar pati dan kadar karbohidrat. Komposisi kimia beras analog disajikan dalam Tabel 15.

Tabel 15. Komposisi Kimia Beras Analog (Per Berat Kering)

Parameter	Bahan Baku		
	Beras Analog	Beras Analog + T. Daun Kelor 10%	Beras Analog + T. Daun Kelor 20%
Kadar Abu (%)	1,93	2,94	3,14
Kadar Air (%)	2,36	1,87	1,28
Kadar Lemak (%)	9,94	12,95	15,47
Kadar Protein (%)	4,99	6,72	8,03
Kadar Pati (%)	72,04	70,66	69,8
Kadar Karbohidrat (%)	80,78	75,52	72,08

Analisa terhadap kadar abu ketiga jenis beras analog berkisar 1,93% - 3,14%. Pengaruh ketiga perlakuan tersebut terhadap kadar abu beras analog menunjukkan bahwa kadar abu beras analog meningkat seiring dengan meningkatnya suplementasi tepung daun kelor yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan tepung daun kelor memiliki kadar abu sebesar 10,73% sedangkan tepung jagung terfermentasi memiliki kadar abu sebesar 0,41%. Kadar abu tepung daun kelor dipengaruhi oleh beberapa faktor. Penambahan daun kelor meningkatkan kandungan mineral, yang mendukung pernyataan Menurut Olusanya et al. (2022), daun kelor mengandung mineral penting yang sangat bermanfaat bagi kesehatan, di antaranya kalium (1752 mg/100g), kalsium (1475 mg/100g), dan magnesium (301 mg/100g). Kandungan mineral ini menjadikan daun kelor sebagai sumber penting untuk mendukung keseimbangan elektrolit tubuh dan kesehatan tulang (Olusanya et al., 2022).

Analisa terhadap kadar air ketiga jenis beras analog berkisar 1,28% - 2,36%. Pengaruh suplementasi tepung daun kelor terhadap kadar air beras analog menunjukkan bahwa semakin banyak tepung daun kelor yang disuplementasikan maka semakin kecil kadar air tepung daun kelor tersebut. Kadar air beras analog dipengaruhi oleh beberapa faktor selama proses pengeringan, diantaranya suhu dan lama waktu pengeringan dan kadar air bahan-bahan yang ditambahkan. Inayah et al. (2023) menjelaskan bahwa kadar air pada produk pangan sangat mempengaruhi umur simpan produk tersebut, karena kadar air yang tinggi dapat mempercepat proses kerusakan produk akibat pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia yang tidak diinginkan. Kadar air beras analog yang rendah ini dapat memberi keuntungan pada saat penyimpanan.

Kadar lemak beras analog sebesar 9,94%, beras analog suplementasi tepung daun kelor 10% sebesar 12,95% dan beras analog suplementasi tepung daun kelor 20% sebesar 15,47%. Dari rerata nilai kadar lemak ketiga jenis beras analog tersebut terdapat perbedaan yang signifikan. Penambahan tepung daun kelor sebesar 2,5% pada beras analog instan dapat meningkatkan kandungan protein dan memberikan karakteristik yang lebih baik pada produk, seperti waktu rehidrasi yang lebih singkat dan kapasitas rehidrasi yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suplementasi tepung daun kelor dapat memperbaiki kualitas fisik dan nutrisi beras analog, terutama dengan meningkatkan kandungan protein dan memperkaya profil gizi produk akhir (Faturachman, Hadi Yusuf, et al., 2022). Hal ini dikarenakan kadar lemak dalam beras analog dipengaruhi oleh penambahan minyak pada proses pembuatan emulsinya. Selain itu kandungan lemak dari tepung jagung terfermentasi mencapai 5,47% dan kadar lemak

tepung daun kelor yang tinggi mencapai 7,71%. Kadar lemak yang tinggi juga dapat disebabkan oleh berkurangnya pembentukan kompleks makronutrien. Menurut Aini *et al.* (2020), Fermentasi pada tepung jagung yang dilakukan dengan mikroorganisme seperti *Lactobacillus casei* dapat meningkatkan kandungan amilosa pada tepung jagung terfermentasi. Penelitian mereka menunjukkan bahwa kadar amilosa pada tepung jagung terfermentasi dapat mencapai 33,10%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan tepung jagung non-fermentasi, sehingga meningkatkan fungsionalitas pati dalam pembuatan produk pangan seperti beras analog.

Dari hasil analisa kadar protein kasar menggunakan metode *Kjeldahl* didapatkan kadar protein beras analog sebesar 4,99%, beras analog suplementasi tepung daun kelor 10% sebesar 6,72% dan beras analog suplementasi tepung daun kelor 20% sebesar 8,03%. Dari rerata nilai kadar protein ketiga jenis beras analog tersebut terdapat perbedaan yang signifikan. Semakin banyak suplementasi tepung daun kelor yang ditambahkan maka kadar protein beras analog semakin meningkat. Hal ini dikarenakan kadar protein dalam beras analog dipengaruhi oleh kandungan protein dari tepung jagung terfermentasi mencapai 6,10% dan kadar protein tepung daun kelor yang tinggi mencapai 18,57%. Daun kelor (*Moringa oleifera*) mengandung protein tinggi serta mineral penting seperti kalsium, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kesehatan tubuh. Selain itu, daun kelor juga dikenal memiliki aktivitas antioksidan yang dapat memberikan perlindungan terhadap kerusakan seluler akibat stres oksidatif, menjadikannya suplemen yang sangat bermanfaat dalam mendukung gizi dan kesehatan (González-Burgos *et al.*, 2021). Suplementasi daun kelor memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kadar protein dan abu.

Kadar pati beras analog sebesar 72,04%, beras analog suplementasi tepung daun kelor 10% sebesar 70,66% dan beras analog suplementasi tepung daun kelor 20% sebesar 69,8% dimana pati disusun oleh dua komponen utama yaitu amilosa dan amilopektin. Penurunan kadar pati ini disebabkan adanya proses fermentasi. Fermentasi jagung secara signifikan meningkatkan daya cerna pati, yang terlihat dari peningkatan degradasi pati menjadi gula sederhana seperti glukosa dan maltosa. Proses ini memperbaiki bioavailabilitas energi dan meningkatkan profil pencernaan pati jagung, yang dapat berdampak pada peningkatan rasa manis produk hasil fermentasi. (Han *et al.*, 2022). Mikroba yang berperan dalam proses fermentasi menghasilkan enzim amilase yang dapat merubah pati menjadi komponen gula-gula sederhana.

Karbohidrat adalah penyumbang utama dari komponen yang membentuk produk pangan baik sebagai komponen alami maupun bahan yang ditambahkan. Kadar karbohidrat di bahan pangan dapat diketahui dengan menghitung persentase yang tersisa setelah semua komponen lain telah diukur (*total carbohydrate by difference*) (SNI 01-2891-1992). Kadar karbohidrat beras analog sebesar 80,78%, beras analog suplementasi tepung daun kelor 10% sebesar 75,52% dan beras analog suplementasi tepung daun kelor 20% sebesar 72,08%. Menurunnya kadar karbohidrat pada beras analog yang disuplementasi tepung daun kelor ini berkorelasi dengan kadar pati beras analog. Total karbohidrat yang ada dalam bahan pangan perlu diketahui. Dalam berbagai studi mengenai bahan makanan penting untuk mengetahui persentase kadar karbohidrat pada pangan yang diujikan sehingga nilai karbohidrat pada bahan lain dapat dikonversi menjadi nilai total pangan.

3.4 Efek Interaksi Bahan, Anti-Nutrien dan Bioavailabilitas

Interaksi tepung jagung terfermentasi dan natrium alginat membentuk struktur gel yang baik, yang berperan penting dalam menentukan tekstur akhir beras analog. Struktur gel ini terbentuk akibat kemampuan natrium alginat dalam membentuk jaringan tiga

dimensi ketika berinteraksi dengan air dan komponen karbohidrat, sebagaimana dijelaskan oleh Chen *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa penggunaan alginat dapat meningkatkan stabilitas dan viskositas produk berbasis pati. Suplementasi daun kelor meningkatkan kadar protein, mineral, dan serat pangan, namun dapat menurunkan kecerahan warna dan kadar pati akibat tingginya kandungan pigmen dan serat tidak larut (Mune *et al.*, 2016). Kombinasi ketiganya memberikan keseimbangan antara nilai fungsional dan karakteristik organoleptik yang diterima oleh panelis.

Daun kelor mengandung senyawa anti-nutrien seperti asam fitat, tanin, dan oksalat, yang berpotensi menghambat penyerapan mineral penting seperti zat besi, kalsium, dan seng. Namun, menurut Foidl *et al.* (2001), proses blansir dan pengeringan dapat secara signifikan menurunkan kandungan anti-nutrien tersebut hingga lebih dari 50%, sehingga aman untuk digunakan dalam formulasi pangan fungsional. Selain itu, fermentasi tepung jagung diketahui mampu meningkatkan ketersediaan hayati (bioavailabilitas) nutrien, terutama protein dan karbohidrat. Menurut Adeyemo dan Onilude (2013), fermentasi alami meningkatkan pencernaan protein dan memecah anti-nutrien pada substrat berbasis sereal. Oleh karena itu, kombinasi proses fermentasi dan pengolahan termal pada bahan penyusun beras analog ini dapat secara sinergis memperbaiki nilai gizi produk akhir.

3.5 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Salah satu aspek penting dalam kajian ilmiah adalah membandingkan hasil penelitian dengan temuan sebelumnya. Perbandingan ini berguna untuk melihat posisi penelitian saat ini dalam konteks pengembangan ilmu pengetahuan yang relevan, serta memberikan justifikasi atas kesesuaian atau perbedaan hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, pada bagian ini disajikan Tabel 16 yang memuat perbandingan antara hasil penelitian ini dengan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan variabel atau pendekatan metodologis.

Tabel 16. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Temuan	Perbandingan dengan Penelitian
Faturochman <i>et al.</i> (2022)	Beras analog berbasis sorgum memiliki kadar protein tinggi tetapi tekstur cenderung keras.	Formulasi ini menghasilkan tekstur lebih lunak dan daya rehidrasi tinggi.
Sumardiono <i>et al.</i> (2020)	Penggunaan mocaf menyebabkan aroma khas yang kurang disukai.	Formulasi ini lebih disukai dalam aspek aroma dan warna.
Wahyuningsih <i>et al.</i> (2023)	Penambahan kelor meningkatkan serat dan nutrisi.	Penelitian ini menunjukkan peningkatan protein dan kadar abu secara signifikan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa beras analog berbahan dasar tepung jagung terfermentasi dengan suplementasi tepung daun kelor memiliki karakteristik fisik, kimia, dan organoleptik yang mendukung sebagai alternatif pangan fungsional. Penambahan tepung jagung terfermentasi terbukti menurunkan tingkat kecerahan namun meningkatkan nilai kemerahan dan kekuningan pada produk akhir, serta meningkatkan kemampuan pengembangan volume dan daya rehidrasi. Sementara itu, peningkatan konsentrasi natrium alginat mampu memperbaiki tekstur dan mempercepat waktu memasak. Dari segi kimia, suplementasi tepung daun kelor memberikan dampak positif terhadap peningkatan kandungan protein dan abu, serta penurunan kadar karbohidrat dan pati. Perlakuan terbaik diperoleh dari kombinasi proporsi 70:30 tepung jagung terfermentasi dan tepung beras, 3% natrium alginat, serta 10% tepung daun kelor. Formulasi ini unggul dalam daya rehidrasi (342%), tekstur lunak, warna menyerupai

beras konvensional, serta mendapat skor organoleptik tertinggi. Hal ini menunjukkan potensinya sebagai pangan fungsional alternatif dengan bahan lokal yang bernilai gizi tinggi. Implikasi dari penelitian ini memperkuat peluang pengembangan produk analog lain berbasis fermentasi dan fortifikasi tanaman lokal. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengeksplorasi teknik pengolahan lanjutan seperti ekstrusi termoplastik dan studi bioavailabilitas nutrisi produk, guna mendapatkan formulasi optimal dari segi gizi dan keamanan pangan.

REFERENCES

- Aini, N., Wijonarko, G., & Sustriawan, B. (2020). Sifat Fisik, Kimia, dan Fungsional Tepung Jagung yang Diproses Melalui Fermentasi. *AgriTECH*, 40(2), 96–102. <https://doi.org/10.22146/agritech.12860>
- Alamu, E. O., Ajibade, S. A., & Ismail, M. S. (2021). Carotenoid profile and functional properties of flour blends from biofortified maize and improved soybean varieties for product developments. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.348431764>
- Faturochman, H., Yusuf, H., & Nugroho, D. (2022). Karakteristik Beras Analog Instan dari Tepung Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) Praglatenisasi dengan Penambahan Tepung Daun Kelor (*Moringa oleifera*). *Jurnal Gizi dan Pangan Soedirman*, 6(2), 7102. <https://doi.org/10.20884/1.jgipas.2022.6.2.7102>
- González-Burgos, E., Ureña-Vacas, I., Sánchez, M., & Gómez-Serranillos, M. P. (2021). Nutritional value of *Moringa oleifera* Lam. leaf powder extracts and their neuroprotective effects via antioxidative and mitochondrial regulation. *Nutrients*, 13(7), 2203. <https://doi.org/10.3390/nu13072203>
- Han, C., Guo, Y., Cai, X., & Yang, R. (2022). Starch properties, nutrients profiles, in vitro ruminal fermentation, and molecular structure of corn processed in different ways. *Fermentation*, 8(7), 315. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070315>
- Ilowefah, M., Rojas, C., & Kumar, D. (2021). The Effect of Lactic Acid Bacteria and Co-Culture on Structural, Rheological, and Textural Profile of Corn Dough. *Journal of Food Science*, 86(6), 2354–2363. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15835>
- Imelda, D., Oktavia, D., & Cahyani, A. (2023). Improvement of Prebiotic Properties and Resistant Starch Content of Corn Flour (*Zea mays* L.) Momala Gorontalo Using Physical, Chemical and Enzymatic Modification. *Journal of Food Science*, 88(2), 834–843. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17567>
- Lacerda, L. D., Silveira, N. P. da, Bondam, A. F., & Hoffmann, J. F. (2023). Starch gelatinization behavior: The impact of granular structure. *Starch - Stärke*, 75(1–2), 2200143. <https://doi.org/10.1002/star.202300143>
- Olusanya, O. A., Akinmoladun, A. F., & Aluko, R. E. (2022). Nutritional and Antioxidant Properties of *Moringa oleifera* Leaves in Functional Foods. *Foods*, 11(8), 1107. <https://doi.org/10.3390/foods11081107>
- Qi, X., Yang, S., Zhao, D., Liu, J., & Yang, Q. (2020). Changes in structural and physicochemical properties of corn flour after fermentation with *Lactobacillus plantarum* Y1. *Starch - Stärke*, 72(11–12), 1900285. <https://doi.org/10.1002/star.201900285>
- Wahyuningsih, I., Aji, A. S., Aprilia, V., Saloko, S., Seftina, D., & Majid, V. M. (2023). Sensory Evaluation and Fiber Content Analysis of Analog Rice with *Moringa* Leaf Flour Substitution. *Indonesian Journal of Human Nutrition*, 10(1), 28–41. <https://doi.org/10.21776/ub.ijhn.2023.010.01.4>
- Xu, X., Zhang, Y., Liu, Z., & Li, W. (2023). Construction of starch-sodium alginate interpenetrating polymer network and its effects on structure, cooking quality and in vitro starch digestibility of extruded whole buckwheat noodles. *Food Hydrocolloids*, 143, 108876. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108876>
- Yenrina, R., Azima, F., Liganti, R., & Heriyenni. (2020). In vitro digestibility and total carotenoid content of corn subjected to various processing methods. *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, 4(2), 55–63. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v4i2.55>