

## Efektivitas Fermentasi *Rhizopus oligosporus* Terhadap Peningkatan Protein Bonggol dan Bekatul Jagung Serta Aplikasinya Pada Produk Pangan Fungsional

M. Ekahidiatullah<sup>1\*</sup>, Ariyansyah<sup>2</sup>, Muh. Nasir<sup>3</sup>, Nikman Azmin<sup>4</sup>, Radhinan Awalnurrahman<sup>5</sup>, Juryatina<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Prodi Pendidikan Biologi, Universitas Nggusuwaru

<sup>6</sup>Prodi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Nggusuwaru

E-mail: [muhammadekahidiatullah1990@gmail.com](mailto:muhammadekahidiatullah1990@gmail.com)<sup>1\*</sup>

### Article Info

#### Article History

Received: 2025-09-28  
Revised: 2025-11-27  
Published: 2025-11-29

#### Keywords:

Corn cob and rice bran  
Functional food; *Rhizopus oligosporus*; Solid-state fermentation; Stunting prevention

### Abstract

Stunting remains a major health problem in Indonesia, including Bima Regency (36.7% in 2023). Limited access to animal protein drives the need to utilize local resources such as corn cobs and bran, which are fiber-rich and can be nutritionally improved through fermentation. This study evaluated the effect of *Rhizopus oligosporus* fermentation on the protein content of corn residues and assessed their application in functional food products. A laboratory pre-post experimental design with three-day solid-state fermentation at  $30 \pm 2$  °C was used. Protein levels were measured using the Kjeldahl method, while sensory quality and product stability were assessed by local panelists. Protein content increased significantly from  $6.8 \pm 0.3\%$  to  $9.1 \pm 0.4\%$  dry weight after fermentation. Cookies formulated with the fermented material contained  $8.0 \pm 0.3\%$  protein, remaining higher than pre-fermentation raw ingredients. Sensory evaluation showed moderate acceptance (overall score 5.9/9), with taste receiving the highest rating. During seven days of storage, product stability declined as indicated by color changes, increased hardness, moisture rise, and higher microbial count, though values stayed within safe limits. This study demonstrates that *R. oligosporus* fermentation can enhance the nutritional quality of corn residues and provides a feasible strategy for developing affordable functional foods that support stunting-reduction programs, offering a locally adaptable and scalable approach.

### Artikel Info

#### Sejarah Artikel

Diterima: 2025-09-28  
Direvisi: 2025-11-27  
Dipublikasi: 2025-11-29

#### Kata kunci:

Bonggol dan bekatul jagung; Fermentasi padat; Pangan fungsional; Pencegahan stunting; *Rhizopus oligosporus*

### Abstrak

Stunting tetap menjadi masalah kesehatan utama di Indonesia, termasuk Kabupaten Bima (36,7% pada 2023). Keterbatasan akses protein hewani mendorong pemanfaatan sumber lokal seperti bonggol dan bekatul jagung yang kaya serat dan dapat ditingkatkan nilai gizinya melalui fermentasi. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh fermentasi *Rhizopus oligosporus* terhadap kadar protein residu jagung serta aplikasinya dalam produk pangan fungsional. Desain penelitian menggunakan pre-post test dengan fermentasi padat selama tiga hari pada suhu  $30 \pm 2$  °C. Kadar protein dianalisis dengan metode Kjeldahl, sedangkan mutu sensoris dan stabilitas produk diuji oleh panelis masyarakat. Kadar protein meningkat signifikan dari  $6,8 \pm 0,3\%$  menjadi  $9,1 \pm 0,4\%$  bobot kering. Kukis berbahan hasil fermentasi mengandung  $8,0 \pm 0,3\%$  protein, tetap lebih tinggi dibanding bahan awal pra-fermentasi. Uji sensoris menunjukkan penerimaan moderat (skor keseluruhan 5,9/9), dengan rasa memperoleh nilai tertinggi. Selama penyimpanan tujuh hari, stabilitas produk menurun ditandai perubahan warna, tekstur lebih keras, kenaikan kadar air, dan jumlah mikroba, namun tetap dalam batas aman. Penelitian ini menegaskan bahwa fermentasi residu jagung dengan *R. oligosporus* mampu meningkatkan kualitas gizi dan berpotensi dikembangkan menjadi pangan fungsional terjangkau untuk mendukung program penurunan stunting secara lokal dan berkelanjutan.

## PENDAHULUAN

Stunting pada anak tetap menjadi masalah kesehatan masyarakat global yang mendesak. Kondisi ini tidak hanya menghambat pertumbuhan fisik, tetapi juga

memengaruhi perkembangan kognitif, kemampuan belajar, dan produktivitas ekonomi jangka panjang (Agista et al., 2024). WHO memperkirakan lebih dari 20% anak balita dunia mengalami stunting,

dan Indonesia berada pada kelompok negara dengan prevalensi tinggi (Maulidiana & Sutjiati, 2021). Di Kabupaten Bima, angka stunting mencapai 36,7% pada tahun 2023, jauh di atas rata-rata nasional, sehingga membutuhkan intervensi gizi yang efektif dan berbasis sumber daya lokal. Terbatasnya akses terhadap protein hewani di wilayah pedesaan memperburuk defisiensi protein sebagai salah satu pemicu utama stunting (Wang et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan sumber pangan lokal kaya protein yang murah, tersedia, dan diterima secara budaya untuk mendukung pertumbuhan anak dan pencegahan stunting jangka panjang (Zhang et al., 2022).

Jagung merupakan tanaman pangan utama di Indonesia dan banyak tersedia di wilayah Bima. Namun, fraksi non-biji seperti bonggol (tongkol) dan bekatul masih belum dimanfaatkan secara optimal meskipun mengandung 8–12% protein, serat pangan, dan berbagai mikronutrien (Górska et al., 2025). Sebagian besar bahan ini dibuang atau hanya dijadikan pakan ternak. Pemanfaatan residu pertanian tersebut sebagai bahan pangan manusia tidak hanya berpotensi meningkatkan kecukupan gizi, tetapi juga mengurangi limbah dan memperkuat ketahanan pangan lokal (Sari et al., 2025). Salah satu pendekatan yang dapat meningkatkan kualitas gizi bahan nabati adalah fermentasi mikroba, khususnya melalui fermentasi padat berbasis jamur filamentus. Metode ini dikenal mampu meningkatkan kandungan protein, memperbaiki profil asam amino esensial, menurunkan faktor anti-gizi seperti fitat, serta menghasilkan komponen

bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan (Endrinikapoulos et al., 2023).

Di antara kapang yang umum digunakan, *Rhizopus oligosporus*, mikroorganisme utama dalam produksi tempe, memiliki kemampuan biokonversi yang kuat dan telah terbukti meningkatkan nilai gizi berbagai substrat nabati (Massa et al., 2024). Secara umum, peningkatan protein melalui fermentasi terjadi melalui dua mekanisme utama: akses nutrisi yang lebih baik karena degradasi komponen struktural tanaman, dan kontribusi protein mikroba selama pertumbuhan miselium. Bukti internasional menunjukkan peningkatan protein yang konsisten pada fermentasi kedelai, okara, dan bran berbagai biji-bijian (Sandoval et al., 2024). Konsep biokonversi protein ini relevan untuk dikembangkan lebih jauh dalam konteks pangan fungsional, terutama sebagai bagian dari upaya menciptakan produk berbasis sumber lokal yang bernilai tambah dan memiliki potensi kesehatan.

Kendati berbagai penelitian menunjukkan efektivitas *R. oligosporus* dalam meningkatkan nilai gizi bahan nabati, sebagian besar studi berfokus pada kedelai atau limbah pertanian lain untuk pakan ternak. Penelitian mengenai bonggol dan bekatul jagung sebagai substrat pangan manusia masih terbatas dan belum dikaji secara komprehensif (Thahir et al., 2023). Celah ilmiah ini penting mengingat potensi besar residu jagung sebagai sumber pangan alternatif yang murah, tersedia, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh fermentasi *Rhizopus oligosporus* terhadap peningkatan kandungan protein bonggol

dan bekatul jagung serta mengevaluasi penerapannya dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal untuk mendukung upaya pencegahan stunting di wilayah dengan prevalensi tinggi.

## METODE

### Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan pendekatan pre-post test. Perlakuan yang diuji adalah fermentasi bonggol dan bekatul jagung menggunakan starter yang mengandung *Rhizopus oligosporus*, diikuti formulasi sederhana produk pangan fungsional. Kadar protein diukur pada bahan sebelum fermentasi, setelah fermentasi, dan pada produk pangan hasil olahan.

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung pada periode Juni hingga Desember 2025 dengan lokasi pelaksanaan di Desa Rada.

### Bahan

Bahan utama berupa bonggol (tongkol) jagung dan bekatul jagung diperoleh dari petani lokal di Kecamatan Bolo, Kabupaten Bima. Starter yang digunakan adalah ragi tradisional (starter tempe) yang secara alami mengandung *Rhizopus oligosporus*. Reagen analisis protein menggunakan reagen Kjeldahl.

### Persiapan dan Perlakuan Fermentasi

Campuran bonggol dan bekatul jagung dalam perbandingan tertentu (1:1) dikeringkan, digiling, dan diayak hingga homogen. Campuran ini kemudian disterilisasi, didinginkan, dan diinokulasi

dengan starter (ragi) yang mengandung *Rhizopus oligosporus* sesuai dosis standar. Fermentasi dilakukan secara padat (*solid-state*) pada suhu  $30 \pm 2$  °C selama 3 hari. Setelah fermentasi selesai, sampel dikeringkan untuk menghentikan aktivitas mikroba dan dianalisis kandungan proteinnya.

### Formulasi Produk Pangan Fungsional

Hasil fermentasi campuran bonggol dan bekatul jagung digunakan sebagai bahan tambahan dalam formulasi produk pangan prototipe (kukis). Produk yang dihasilkan kemudian diuji sensoris dan stabilitasnya.

### Analisis Kandungan Protein

Kandungan protein total dianalisis dengan metode Kjeldahl ( $N \times$  faktor konversi protein). Analisis dilakukan pada setiap sampel (pra-fermentasi, pasca-fermentasi, dan produk prototipe). Hasil pengukuran dinyatakan sebagai rata-rata  $\pm$  standar deviasi (Lim et al., 2023).

### Uji Sensoris

Uji sensoris dilakukan untuk menilai tingkat penerimaan produk prototipe oleh masyarakat setempat. Panelis terdiri atas 30 orang warga sekitar yang secara sukarela berpartisipasi. Uji dilakukan menggunakan skala hedonik 9 poin untuk atribut penampilan, aroma, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Data dianalisis secara statistik dengan ANOVA satu arah atau uji Friedman bila distribusi data tidak normal ( $p < 0,05$ ).

### Uji Stabilitas / Daya Simpan

Uji stabilitas dilakukan untuk menilai mutu fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensoris produk pangan fungsional selama penyimpanan (Canoy et al., 2024). Produk

prototipe yang dihasilkan dikemas dalam kemasan plastik makanan standar dan disimpan pada dua kondisi, yaitu suhu ruang ( $\approx 25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ; kelembapan relatif 60–70%) dan suhu dingin ( $4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Evaluasi dilakukan secara berkala pada hari ke-0, 2, 4 dan 7. Parameter yang diamati meliputi perubahan penampilan, tekstur, dan kelembapan produk

### Analisis Data

Perbedaan kadar protein sebelum dan sesudah fermentasi serta setelah pengolahan diuji secara statistik menggunakan uji t-berpasangan untuk dua kondisi atau ANOVA satu arah untuk lebih dari dua kondisi, dengan tingkat signifikansi  $p < 0,05$ . Analisis statistik dilakukan menggunakan SPSS versi terbaru (Zhang et al., 2022).

**Tabel 1.** Rancangan Sampel Analisis Protein, sensoris dan Stabilitas daya simpan

No	Sampel	Tahap Analisis	Replikasi (n)/Panel	Keterangan
1	Campuran bonggol + bekatul jagung	Pra-fermentasi (protein)	3	Campuran bahan mentah sebelum inoculasi
2	Campuran bonggol + bekatul jagung	Pasca-fermentasi (protein)	3	Campuran setelah fermentasi 3 hari
3	Produk prototipe berbasis campuran fermentasi	Uji sensoris (hedonic)	30 panel	Produk segar (hari 0)
4	Produk prototipe berbasis campuran fermentasi	Uji stabilitas (fisik, mikrobiologi, sensoris)	30 panel (sensoris t0 sampai t7)	Penyimpanan suhu ruang 0 sampai 14 hari saja

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fisik Bahan dan Perubahan Selama Proses

Campuran bonggol dan bekatul jagung yang digunakan dalam penelitian ini diolah menjadi bentuk bubuk/tepung homogen

berwarna krem pucat kecokelatan dengan tekstur halus-sedang (ukuran partikel  $\pm 60$  mesh) dan aroma netral khas jagung. Setelah dicampur dengan starter yang mengandung *Rhizopus oligosporus*, substrat menunjukkan kelembapan meningkat sedikit dan tekstur menjadi lebih lembap dan menggumpal ringan, dengan warna mulai lebih gelap keabu-abuan karena adanya inokulum. Aroma khas ragi mulai tercium lemah. Selama fermentasi padat selama 3 hari pada suhu  $30 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , tampilan fisik substrat berubah nyata. Pada hari ke-2, pertumbuhan miselium putih kapas halus terlihat merata di permukaan substrat. Pada akhir fermentasi (hari ke-3), substrat telah tertutup miselium putih tebal dengan bau fermentasi khas seperti tempe dan tekstur menjadi lebih padat, agak elastis, dan mudah diremas. Perubahan ini menunjukkan pertumbuhan aktif *R. oligosporus* dan proses biokonversi berlangsung baik (Lima et al., 2021).

Setelah fermentasi selesai dan dilakukan pengeringan untuk menghentikan aktivitas mikroba, bahan hasil fermentasi berwarna krem lebih tua dengan bercak putih miselium kering, tekstur lebih rapuh, dan aroma fermentasi ringan. Hasil pengamatan ini mengindikasikan terjadinya modifikasi fisik substrat (Gambar 1 dan Tabel 2).



**Gambar 1.** Tepung Bonggol+Bekatul Jagung dan Proses Fermentasi

**Tabel 2.** Perubahan karakteristik fisik campuran bonggol dan bekatul jagung pada setiap tahap prose

Tahap Proses	Warna / Penampakan	Tekstur	Aroma
Tepung awal (pra-fermentasi)	Krem pucat kecokelatan, homogen	Halus-sedang, kering	Netral khas jagung
Setelah penambahan starter (ragi)	Lebih gelap keabuan, bercak inokulum	Lembap, agak menggumpal	Mulai tercium aroma ragi ringan
Fermentasi hari ke-2	Mulai tertutup miselium putih tipis	Lembap, padat, ada benang miselium	Aroma fermentasi lemah
Fermentasi hari ke-3 (selesai)	Tertutup miselium putih tebal merata	Padat, agak elastis	Aroma fermentasi khas tempe
Setelah pengeringan pasca-fermentasi	Krem lebih tua dengan bercak putih miselium kering	Rapuh, mudah diremas	Aroma fermentasi ringan

### Karakteristik Bahan Awal

Analisis awal campuran bonggol dan bekatul jagung dilakukan untuk memperoleh profil kimia dasar sebelum fermentasi. Campuran disiapkan dalam rasio 1:1 (b/b) berdasarkan berat kering, kemudian dikeringkan dan dihomogenkan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa campuran ini memiliki kandungan protein relatif rendah, yaitu  $6,8 \pm 0,3\%$  (berat kering), yang sejalan dengan karakteristik residu jagung menurut laporan Vong et al., (2018) sebesar 6–9%. Kadar air  $10,5 \pm 0,4\%$ , mencerminkan kondisi substrat yang cukup kering untuk fermentasi padat. Serat kasar yang relatif tinggi ( $18,3 \pm 0,6\%$ ) menunjukkan potensi substrat sebagai sumber serat pangan, namun juga dapat menjadi penghambat ketersediaan protein jika tidak diolah. Kandungan abu  $3,2 \pm 0,1\%$  menunjukkan keberadaan mineral dalam jumlah sedang, sedangkan karbohidrat tersedia dihitung  $58,7 \pm 1,0\%$  dengan metode by-difference (Tabel 3).

**Tabel 3.** Komposisi awal campuran bonggol dan bekatul jagung sebelum fermentasi (rata-rata  $\pm$  SD, n=3)

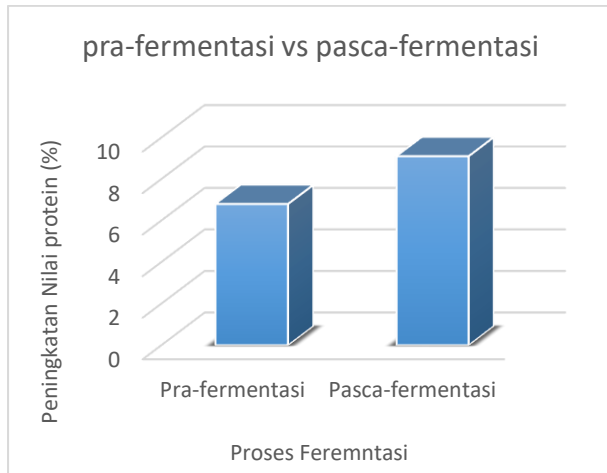
Parameter	Nilai (rata-rata $\pm$ SD)
Kadar protein (%) (berat kering)	$6,8 \pm 0,3$
Kadar air (%)	$10,5 \pm 0,4$
Serat kasar (%)	$18,3 \pm 0,6$
Abu (%)	$3,2 \pm 0,1$
Lemak (%)	$2,1 \pm 0,2$
Karbohidrat tersedia (%)*	$58,7 \pm 1,0$
Energi (kkal/100 g)**	$290 \pm 5$

### Perubahan Kadar Protein Setelah Fermentasi

Fermentasi campuran bonggol dan bekatul jagung menggunakan starter yang mengandung *Rhizopus oligosporus* selama 3 hari menghasilkan peningkatan nyata kandungan protein total. Analisis kadar protein dengan metode Kjeldahl menunjukkan bahwa sebelum fermentasi, kadar protein campuran hanya  $6,8 \pm 0,3\%$  (berat kering). Setelah fermentasi, kandungan protein meningkat menjadi  $9,1 \pm 0,4\%$  ( $p < 0,05$ ). Peningkatan sebesar  $\pm 2,3\%$  ini mencerminkan kontribusi protein mikroba (*single cell protein*) yang disumbangkan oleh pertumbuhan miselium *R. oligosporus* serta pemecahan protein kompleks substrat menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah terukur sebagai nitrogen total. Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi padat dengan *R. oligosporus* efektif meningkatkan kualitas protein pada substrat berbasis residu jagung yang semula rendah proteinnya (Tabel 4 dan Gambar 2).

**Tabel 4.** Kadar protein campuran bonggol + bekatul jagung pra- dan pasca-fermentasi (rata-rata  $\pm$  SD, n=3)

Sampel	Kadar Protein (%) (rata-rata $\pm$ SD)
Pra-fermentasi (hari 0)	$6,8 \pm 0,3$
Pasca-fermentasi (hari ke-3)	$9,1 \pm 0,4^*$



**Gambar 2.** Perubahan Kadar Protein Setelah Fermentasi

### Formulasi dan Analisis Produk Prototipe

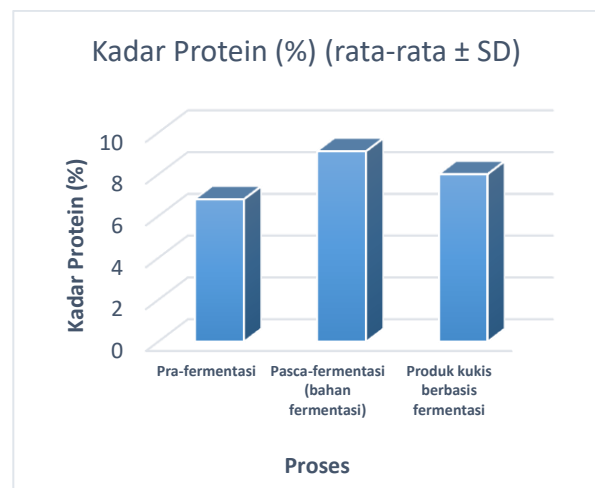
Produk prototipe yang dihasilkan berupa kukis berbasis campuran bonggol dan bekatul jagung hasil fermentasi *Rhizopus oligosporus*. Formulasi dilakukan dengan menambahkan bahan pendukung seperti tepung jagung dalam jumlah terbatas, gula, lemak, dan bahan pembentuk struktur sesuai resep standar rumah tangga. Penambahan bahan ini diperlukan untuk memperbaiki tekstur dan cita rasa produk tetapi berpotensi menurunkan konsentrasi protein total per 100 g bahan kering. Proses pemanggangan dilakukan pada suhu 180 °C selama 15 menit.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar protein kukis berbasis hasil fermentasi tercatat 8,0 ± 0,3% (berat kering). Nilai ini lebih rendah dibanding kadar protein bahan fermentasi sebelum diolah (9,1 ± 0,4%), sejalan dengan efek pengenceran oleh bahan tambahan dan sedikit penurunan akibat panas selama pemanggangan. Meski demikian, kadar protein kukis tetap lebih tinggi dibanding bahan awal pra-fermentasi (6,8 ± 0,3%) ( $p < 0,05$ ), menunjukkan bahwa fermentasi

sebelum pengolahan mampu meningkatkan kandungan protein bahan dasar sehingga efeknya masih terasa pada produk akhir (table 5 dan gambar 3).

**Tabel 5.** Kadar protein pada setiap tahap proses (rata-rata ± SD, n=3)

Tahap Proses	Kadar Protein (%) (rata-rata ± SD)
Pra-fermentasi (bahan mentah)	6,8 ± 0,3
Pasca-fermentasi (bahan fermentasi)	9,1 ± 0,4
Produk kukis berbasis fermentasi	8,0 ± 0,3



**Gambar 3.** Kadar Protein Produk Prototipe

### Hasil Uji Sensoris.

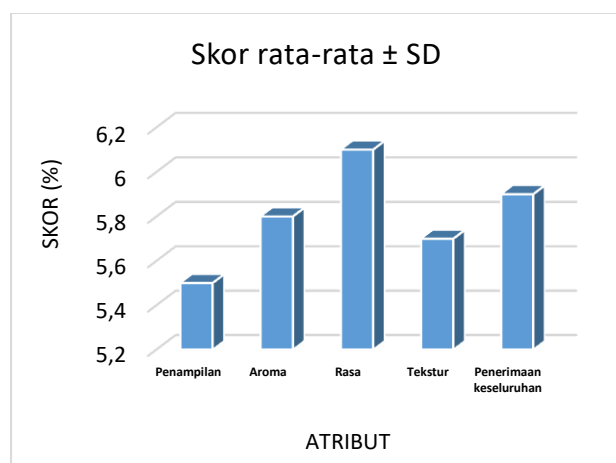
Kukis berbasis hasil fermentasi campuran bonggol dan bekatul jagung yang diformulasikan dalam penelitian ini memiliki warna coklat agak tua dengan permukaan sedikit lebih kasar dibanding kukis konvensional. Teksturnya renyah tetapi terasa lebih padat karena kandungan serat tinggi, dan aromanya membawa nuansa khas fermentasi nabati yang tidak umum. Karakteristik ini membuat tanggapan panelis cenderung hati-hati.

Berdasarkan uji hedonik skala 9 poin yang melibatkan 30 orang warga sekitar, hanya sekitar 10–15% panelis yang

menyatakan suka dengan rasa dan aromanya yang unik, sedangkan mayoritas ( $\pm 70\%$ ) memberikan penilaian netral sampai agak suka. Sekitar 15–20% panelis menyatakan kurang suka, terutama menyoroti warna cokelat tua dan aroma fermentasi yang dianggap “asing” untuk kukis. Skor rata-rata uji hedonik menunjukkan atribut penampilan dan aroma berada pada nilai 5,5–5,8, sedangkan rasa sedikit lebih tinggi ( $6,1 \pm 0,5$ ). Penerimaan keseluruhan berada pada tingkat moderat ( $5,9 \pm 0,4$  dari skala 9), menunjukkan produk ini bisa diterima tetapi belum “disukai” secara luas dan memerlukan penyempurnaan formulasi (Tabel 6 dan Gambar 4).

**Tabel 6.** Skor hedonik kukis berbasis hasil fermentasi (n = 30 panelis)

Atribut	Skor rata-rata $\pm$ SD
Penampilan	$5,5 \pm 0,6$
Aroma	$5,8 \pm 0,5$
Rasa	$6,1 \pm 0,5$
Tekstur	$5,7 \pm 0,5$
Penerimaan keseluruhan	$5,9 \pm 0,4$



**Gambar 4.** Hasil uji Sensoris dari 30 panelis

### Hasil Uji Stabilitas / Daya Simpan

Selama penyimpanan pada suhu ruang selama 7 hari, mutu fisik kukis menurun

berupa gelapnya warna permukaan, tekstur yang makin keras, dan penguatan aroma fermentasi. Kadar air naik moderat dari  $9,8 \pm 0,3 \%$  (hari 0) menjadi  $11,8 \pm 0,4 \%$  (hari 7) akibat penyerapan kelembapan.

Total Plate Count (TPC) bertambah secara moderat dari  $<10^2$  CFU/g pada hari 0 menjadi  $\approx 5,0 \times 10^3$  CFU/g pada hari 7 — kenaikan wajar untuk produk kering yang mengalami penyerapan kelembapan dan paparan permukaan selama penanganan. Nilai ini menunjukkan penurunan mutu mikrobiologis namun masih berada di bawah ambang keamanan yang umum diterapkan pada produk kering, sehingga produk masih dianggap aman dikonsumsi pada hari ke-7 meski kualitas sensorisnya menurun.

**Tabel 7.** Parameter mutu kukis selama penyimpanan

Parameter / Hari	Hari ke-0	Hari ke-7
Penampilan (visual)	Cokelat agak tua, permukaan sedikit kasar	Lebih gelap, permukaan kusam
Tekstur (visual/fisik)	Renyah agak padat	Lebih keras, agak liat
Aroma	Khas fermentasi ringan	Aroma fermentasi lebih kuat
Kadar air (%)	$9,8 \pm 0,3$	$11,8 \pm 0,4$
TPC (CFU/g)	$<10^2$	$\approx 5,0 \times 10^3$

### Peningkatan Protein Akibat Fermentasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi padat campuran bonggol dan bekatul jagung selama tiga hari menggunakan starter yang mengandung *Rhizopus oligosporus* meningkatkan kadar protein dari  $6,8 \pm 0,3\%$  menjadi  $9,1 \pm 0,4\%$  berat kering. Peningkatan ini sesuai dengan mekanisme biokonversi yang telah dijelaskan oleh Ibarruri et al., (2019), di mana *R. oligosporus* menghasilkan enzim protease, fitase, dan selulase yang memecah

kompleks protein–karbohidrat, mengurangi faktor anti-gizi, serta menyumbang protein mikroba (*single cell protein*) melalui pertumbuhan miseliumnya. Fenomena serupa dilaporkan oleh Zwinkels et al., (2023) pada fermentasi dedak padi, di mana kadar protein meningkat 20–30% setelah fermentasi padat. Temuan ini mengindikasikan bahwa residu jagung yang semula rendah protein dapat dimodifikasi menjadi bahan baku pangan fungsional dengan kualitas protein lebih baik melalui fermentasi mikroba.

#### Kualitas Produk Prototipe

Kadar protein kukis berbasis hasil fermentasi tercatat  $8,0 \pm 0,3\%$  berat kering, lebih rendah dibanding bahan fermentasi ( $9,1 \pm 0,4\%$ ) namun tetap lebih tinggi dibanding bahan awal pra-fermentasi ( $6,8 \pm 0,3\%$ ). Penurunan ini disebabkan oleh dua faktor: pertama, efek pengenceran karena penambahan tepung jagung, gula, dan lemak; kedua, degradasi sebagian protein atau kehilangan nitrogen volatil akibat panas selama pemanggangan (Asadi et al., 2022; Teoh et al., 2024b) Namun demikian, hasil ini menunjukkan bahwa strategi fermentasi sebelum pengolahan mampu mempertahankan sebagian besar peningkatan protein hingga produk akhir, sehingga relevan sebagai pendekatan peningkatan asupan protein berbasis bahan lokal dalam upaya pencegahan stunting (Hussain et al., 2014; Ismawati et al., 2020; Elegbede et al., 2021)

#### Tingkat Penerimaan Sensoris

Uji sensoris hari ke-0 menunjukkan skor penerimaan keseluruhan moderat ( $5,9 \pm 0,4$  pada skala 9). Mayoritas panelis memberikan penilaian netral–agak suka,

hanya sedikit yang menyatakan sangat suka, dan sekitar 15–20% kurang suka. Atribut rasa mendapat skor lebih tinggi ( $6,1 \pm 0,5$ ) dibanding penampilan ( $5,5 \pm 0,6$ ) dan aroma ( $5,8 \pm 0,5$ ). Temuan ini konsisten dengan laporan Wronkowska et al., (2015) bahwa produk fermentasi berbasis substrat nabati cenderung memiliki aroma khas yang kurang familiar bagi konsumen awam sehingga penerimaannya lebih rendah dibanding produk konvensional. Ini menunjukkan perlunya penyesuaian formulasi atau teknik pengolahan lebih lanjut untuk meningkatkan daya terima tanpa mengorbankan manfaat gizi (Hussain et al., 2014; Awol et al., 2024; Tee et al., 2023)

#### Stabilitas / Daya Simpan

Selama penyimpanan suhu ruang selama 7 hari, terjadi penurunan mutu fisik dan kenaikan moderat kadar air dari  $9,8 \pm 0,3\%$  menjadi  $11,8 \pm 0,4\%$ . Kenaikan kadar air ini wajar mengingat sifat higroskopis serat tinggi pada residu jagung yang menyerap kelembapan udara, terutama bila kemasan tidak sepenuhnya kedap uap air (Gautheron et al., 2024; Winkler & Murphy, 1973) Warna yang lebih gelap dan permukaan kusam setelah penyimpanan disebabkan oleh reaksi pencokelatan non-enzimatis (Maillard) serta oksidasi pigmen selama penyimpanan (Ranasinghe et al., 2025). Tekstur yang lebih keras dan liat juga merupakan konsekuensi dari penyerapan kelembapan dan redistribusi air pada matriks produk kering (Villacrés & Rosell, 2021; Anaemene & Fadupin, 2022; Astuti et al., 2025)

Total Plate Count (TPC) meningkat dari  $<10^2$  CFU/g menjadi  $\approx 5,0 \times 10^3$  CFU/g

pada hari ke-7. Kenaikan ini masih berada di bawah ambang keamanan umum untuk produk kering ( $10^5$  CFU/g menurut Codex Alimentarius), mencerminkan kontaminasi mikroba moderat yang umum terjadi pada produk berserat tinggi dengan kemasan sederhana (Sousa et al., 2021) (Svanberg & Lorri, 1997). Studi serupa oleh Aljobair, (2022) pada biskuit berbahan dedak melaporkan kenaikan TPC hingga  $10^4$  CFU/g setelah penyimpanan 7 hari pada suhu ruang. Dengan demikian, produk kukis ini masih aman dikonsumsi hingga hari ke-7 meskipun kualitas sensorisnya menurun.

#### Implikasi dan Keterbatasan

Temuan ini menunjukkan bahwa fermentasi residu jagung dengan *R. oligosporus* dapat meningkatkan kandungan protein bahan dasar dan mempertahankan peningkatan ini hingga produk akhir, meskipun penerimaan sensoris masih moderat dan stabilitas produk terbatas. Implikasi praktisnya adalah perlunya optimasi formulasi, kemasan kedap uap air, dan edukasi konsumen agar produk berbasis bahan fermentasi dapat diterima lebih luas. Keterbatasan penelitian ini mencakup rasio campuran yang tunggal, waktu fermentasi relatif pendek, serta panelis sensoris terbatas 30 orang. Penelitian lanjutan perlu mengeksplorasi variasi rasio campuran, waktu fermentasi lebih panjang, dan uji penerimaan konsumen skala besar.

#### KESIMPULAN

Fermentasi padat campuran bonggol dan bekatul jagung menggunakan starter yang mengandung *Rhizopus oligosporus* selama tiga hari meningkatkan kadar

protein bahan dari  $6,8 \pm 0,3\%$  menjadi  $9,1 \pm 0,4\%$  berat kering. Peningkatan ini mencerminkan kontribusi protein mikroba dan pemecahan kompleks protein-karbohidrat oleh enzim yang dihasilkan *R. oligosporus*. Meskipun proses pemanggangan dan penambahan bahan pendukung pada formulasi kukis menurunkan kadar protein menjadi  $8,0 \pm 0,3\%$ , nilai ini tetap lebih tinggi dibanding bahan awal pra-fermentasi.

Produk kukis berbasis hasil fermentasi menunjukkan penerimaan sensoris hanya pada tingkat moderat (skor keseluruhan  $5,9 \pm 0,4$  pada skala 9), dengan atribut penampilan dan aroma mendapat skor lebih rendah dibanding rasa. Stabilitas mutu selama penyimpanan suhu ruang tujuh hari juga menurun, ditandai dengan warna lebih gelap, tekstur lebih keras, aroma fermentasi lebih kuat, kenaikan kadar air, dan peningkatan moderat jumlah mikroba, meskipun masih di bawah ambang keamanan pangan.

Kekurangan signifikan yang teridentifikasi meliputi: (1) penerimaan sensoris yang relatif rendah karena warna coklat tua dan aroma fermentasi yang kurang familiar bagi konsumen; (2) penurunan mutu fisik dan mikrobiologis yang cukup nyata selama penyimpanan hanya tujuh hari; (3) hilangnya sebagian peningkatan protein pada tahap pemanggangan akibat panas dan pengenceran bahan tambahan. Ketiga faktor ini menunjukkan perlunya optimasi formulasi (rasio campuran dan bahan tambahan), teknik pengolahan yang meminimalkan degradasi protein, penggunaan starter terstandar, serta

kemasan dengan daya hambat uap air lebih baik untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan penerimaan konsumen.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan potensi fermentasi residu jagung dengan *R. oligosporus* untuk meningkatkan kualitas gizi dan menyediakan bahan baku produk pangan fungsional berbasis sumber daya lokal untuk mendukung upaya pencegahan stunting, namun menunjukkan bahwa peningkatan gizi saja tidak otomatis menjamin penerimaan konsumen dan stabilitas produk, sehingga diperlukan inovasi lebih lanjut di aspek formulasi dan teknologi pasca-proses.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Kemendiktisaintek yang telah memberikan dukungan pendanaan pada penelitian ini sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan ini berperan penting dalam upaya pengembangan inovasi pangan lokal untuk pencegahan stunting di daerah dengan prevalensi tinggi

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agista, A. Z., Chien, Y.-S., Koseki, T., Nagaoka, H., Ohnuma, T., Ohsaki, Y., Yeh, C.-L., Yang, S.-C., Ardiansyah, Budijanto, S., Komai, M., & Shirakawa, H. (2024). Investigation of *Rhizopus oligosporus* Metabolites in Fermented Wheat Bran and Its Bio Function in Alleviating Colitis in Mice Model. *Metabolites*, 14(7), 359. <https://doi.org/10.3390/metabo14070359>
- Aljobair, M. O. (2022). Physicochemical, nutritional, and sensory quality and storage stability of cookies: effect of clove powder. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1009–1020. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2071290>
- Anaemene, D., & Fadupin, G. (2022). Anti-nutrient reduction and nutrient retention capacity of fermentation, germination and combined germination-fermentation in legume processing. *Applied Food Research*, 2(1), 100059. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100059>
- Asadi, S. Z., Khan, M. A., & Zaidi, S. (2022). A study on the shelf life of cookies incorporated with sapota and beetroot leaf powders. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 3848–3856. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05408-1>
- Astuti, S. J. W., Suindyah Dwiningwarni, S., & Atmojo, S. (2025). Modeling environmental interactions and collaborative interventions for childhood stunting: A case from Indonesia. *Dialogues in Health*, 6(Juni), 100206. <https://doi.org/10.1016/j.dialog.2025.100206>
- Awol, S. M., Kuyu, C. G., Bereka, T. Y., & Abamecha, N. (2024). Physicochemical stability, microbial growth and sensory quality of refined wheat flour as affected by packaging materials during storage. *Journal of Stored Products Research*, 105, 102217. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102217>
- Canoy, T. S., Wiedenbein, E. S., Bredie, W. L. P., Meyer, A. S., Wösten, H. A. B., & Nielsen, D. S. (2024). Solid-State Fermented Plant Foods as New Protein Sources. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15(1), 189–210. <https://doi.org/10.1146/annurev->

- [food-060721-013526](#)  
Elegbede, J. A., Ajayi, V. A., & Lateef, A. (2021). Microbial valorization of corncob: Novel route for biotechnological products for sustainable bioeconomy. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 102073. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.10.2073>
- Endrinikapoulos, A., Afifah, D. N., Mexitalia, M., Andoyo, R., Hatimah, I., & Nuryanto, N. (2023). Study of the importance of protein needs for catch-up growth in Indonesian stunted children: a narrative review. *SAGE Open Medicine*, 11(March), 1–9. <https://doi.org/10.1177/20503121231165562>
- Gautheron, O., Nyhan, L., Torreiro, M. G., Tlais, A. Z. A., Cappello, C., Gobbetti, M., Hammer, A. K., Zannini, E., Arendt, E. K., & Sahin, A. W. (2024). Exploring the Impact of Solid-State Fermentation on Fava Bean Flour: A Comparative Study of *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus*. *Foods*, 13(18), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods13182922>
- Górska, K., Pejcz, E., & Harasym, J. (2025). Tempeh and Fermentation—Innovative Substrates in a Classical Microbial Process. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(16), 1–24. <https://doi.org/10.3390/app15168888>
- Hussain, R. W., Kumar, S., Bhat, Z. F., & Kumar, P. (2014). Effect of ambient storage on the quality characteristics of aerobically packaged fish curls incorporated with different flours. *SpringerPlus*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-106>
- Ibarruri, J., Cebrián, M., & Hernández, I. (2019). Solid State Fermentation of Brewer's Spent Grain Using *Rhizopus* sp. to Enhance Nutritional Value. *Waste and Biomass Valorization*, 10(12), 3687–3700. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00654-5>
- Ismawati, R., Soeyono, R. D., Romadhoni, I. F., & Dwijayanti, I. (2020). Nutrition intake and causative factor of stunting among children aged under-5 years in Lamongan city. *Enfermería Clínica*, 30, 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.10.043>
- Lim, J., Kim, H., Park, S. B., Pal, K., Kim, S. W., & Kim, D. (2023). Effects of solid-state fermentation using *R. oligosporus* on the phytochemical composition of wild-simulated ginseng leaf and its biological properties. *Food Bioscience*, 52(January), 102412. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102412>
- Lima, T. M. de, Almeida, A. B. de, Peres, D. S., Oliveira, R. M. da S. F. de, Sousa, T. L. de, Freitas, B. S. M. de, Silva, F. G., & Egea, M. B. (2021). *Rhizopus oligosporus* as a biotransforming microorganism of *Anacardium othonianum* Rizz. byproduct for production of high -protein, -antioxidant, and -fiber ingredient. *LWT*, 135(January), 110030. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110030>
- Massa, A., Baiget, M., Rothschild, L. J., Axpe, E., & Carrero-Carralero, C. (2024). New food ingredient via acid-tolerant *Rhizopus oligosporus* growth. *Applied Food Research*, 4(2), 100583. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100583>
- Ranasinghe, M., Alghaithi, M., Mugdil, P., Sundarakani, B., Stathopoulos, C., & Maqsood, S. (2025). Fiber and polyphenol enriched biscuits using date palm byproduct: Physiochemical characteristics, sensory properties, in vitro digestion, and storage stability. *Journal of Food Science*, 90(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/1750->

- [3841.17667](https://doi.org/10.33627/oz.v14i2.3944)  
Rizky Maulidiana, A., & Sutjiati, E. (2021). Low Intake of Essential Amino Acids and Other Risk Factors of Stunting among Under-Five Children in Malang City, East Java, Indonesia. *Journal of Public Health Research*, 10(2), 220–226.  
<https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2161>
- Sandoval, J. F., Gallagher, J., Rodriguez-Garcia, J., Whiteside, K., & Bryant, D. N. (2024). Improved nutritional value of surplus bread and perennial ryegrass via solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus*. *Npj Science of Food*, 8(1), 95.  
<https://doi.org/10.1038/s41538-024-00338-y>
- Sari, A. N., Diana, F. M., & Nur, N. C. (2025). The association between protein intake and feeding practice with stunting in children aged 24-59 months. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria*, 45(1), 430–437.  
<https://doi.org/10.12873/451diana>
- Sousa, T. L. de, Sousa, K. A. de, Santos, D. C. dos, Almeida, A. B. de, Rezende, T. A. M. de, Santana, R. V., Resende, O., & Egea, M. B. (2021). Bioingredient produced with fermentation of corn bran and “Cerrado” cashew byproduct using *Rhizopus oligosporus* and forced-air oven drying: Mathematical modeling and evaluation of quality parameters. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 26, 100262.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100262>
- Svanberg, U., & Lorri, W. (1997). Fermentation and nutrient availability. *Food Control*, 8(5–6), 319–327. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00018-2)
- Tee, A. J., Lim, Y. S., Brameld, J. M., Massawe, F., Parr, T., & Salter, A. M. (2023). Fermentation technology enhances the nutritional quality of underutilized Bambara groundnut – a review. *Food Biotechnology*, 37(2), 106–135.  
<https://doi.org/10.1080/08905436.2023.2201307>
- Teoh, S. Q., Chin, N. L., Chong, C. W., Ripen, A. M., How, S., & Lim, J. J. L. (2024a). A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods*, 9(February), 100330.  
<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100330>
- Teoh, S. Q., Chin, N. L., Chong, C. W., Ripen, A. M., How, S., & Lim, J. J. L. (2024b). A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods*, 9(June), 100330.  
<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100330>
- Thahir, A. I. A., Li, M., Holmes, A., & Gordon, A. (2023). Exploring Factors Associated with Stunting in 6-Month-Old Children: A Population-Based Cohort Study in Sulawesi, Indonesia. *Nutrients*, 15(15), 3420.  
<https://doi.org/10.3390/nu15153420>
- Villacrés, E., & Rosell, C. M. (2021). Kinetics of solid-state fermentation of lupin with *Rhizopus oligosporus* based on nitrogen compounds balance. *Food Bioscience*, 42, 101118.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101118>
- Vong, W. C., Hua, X. Y., & Liu, S.-Q. (2018). Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Yarrowia lipolytica* improved nutritional and flavour properties of okara. *LWT*, 90, 316–322.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.050>
- Wang, C., Hu, C., Li, X., Shen, R., Yin, L., Wu, Q., & Hu, T. (2025). Effects of *Rhizopus oligosporus*-Mediated Solid-State Fermentation on the Protein Profile and  $\alpha$ -Glucosidase Inhibitory Activity of Selenium-Biofortified Soybean

- Tempeh. *Foods*, 14(16), 1–16.  
<https://doi.org/10.3390/foods14162899>
- Winkler, R. L., & Murphy, A. H. (1973). Experiments in the laboratory and the real world. *Organizational Behavior and Human Performance*, 10(2), 252–270. [https://doi.org/10.1016/0030-5073\(73\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0030-5073(73)90017-2)
- Wronkowska, M., Honke, J., & Piskula Mariusz, K. (2015). Effect of solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* on bioactive compounds and antioxidant capacity of raw and roasted buckwheat groats. *Italian Journal of Food Science*, 27(4), 424–431.
- Zhang, Y., Wei, R., Azi, F., Jiao, L., Wang, H., He, T., Liu, X., Wang, R., & Lu, B. (2022). Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* RT-3 enhanced the nutritional properties of soybeans. *Frontiers in Nutrition*, 9(September), 1–14.  
<https://doi.org/10.3389/fnut.2022.972860>
- Zwinkels, J., Wolkers-Rooijackers, J., & Smid, E. J. (2023). Solid-state fungal fermentation transforms low-quality plant-based foods into products with improved protein quality. *Lwt*, 184(June), 114979.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114979>