

PENGARUH MODIFIKASI TAHAP NIKSTAMALISASI TERHADAP INDEKS GLIKEMIK DAN KARAKTERISTIK OLAHAN JAGUNG (KAMBOSE)

ASNAWI BASO



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Modifikasi Tahap Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik dan Karakteristik Olahan Jagung (Kambose)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Asnawi Baso
I1504221001



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ASNAWI BASO. Pengaruh Modifikasi Tahap Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik dan Karakteristik Olahan Jagung (Kambose). Dibimbing oleh RIMBAWAN dan LILIK KUSTIYAH

Diabetes melitus merupakan salah satu penyakit metabolik yang prevalensinya terus meningkat secara global dan berkaitan erat dengan gangguan regulasi glukosa darah. Kualitas karbohidrat pangan merupakan salah satu faktor penting yang berperan dalam pengendalian respons glikemik. Jagung merupakan salah satu sumber karbohidrat yang berpotensi dikembangkan sebagai pangan alternatif karena memiliki kandungan serat pangan yang relatif lebih tinggi dibandingkan beras. Indeks glikemik olahan jagung dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan yang digunakan. Salah satu metode pengolahan yang umum diterapkan pada jagung adalah nikstamalisasi, yaitu proses pemasakan dan perendaman jagung dalam larutan alkali. Modifikasi tahap nikstamalisasi yang dilakukan dalam penelitian ini berupa perendaman jagung dalam larutan kapur sebelum proses pemasakan. Metode pengolahan tersebut terinspirasi dari praktik pengolahan tradisional jagung di Pulau Buton yang berpotensi memengaruhi nilai indeks glikemik melalui perubahan karakteristik olahan jagung yang dihasilkan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung, meliputi sifat fisikokimia dan karakteristik gizi. Selain itu, uji hedonik juga dilakukan untuk mengevaluasi penerimaan panelis terhadap olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi. Modifikasi tahap nikstamalisasi dilakukan melalui perendaman jagung dalam larutan kapur secara nontermal sebelum tahap perebusan, sedangkan kelompok kontrol menggunakan perendaman dalam air. Pengukuran indeks glikemik dilakukan berdasarkan protokol ISO 26642:2010. Sifat fisikokimia dievaluasi melalui analisis derajat gelatinisasi dan ukuran partikel, sedangkan karakteristik gizi dievaluasi melalui analisis proksimat, pati, serat pangan, kalsium, dan profil asam amino. Uji penerimaan sensori dilakukan dengan uji hedonik skala 1-9, dengan skor 1 menunjukkan amat sangat tidak suka dan skor 9 menunjukkan amat sangat suka.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi menghasilkan nilai indeks glikemik jagung yang cenderung lebih rendah (56,4) dibandingkan kontrol (57,5). Kecenderungan indeks glikemik tersebut diduga berkaitan dengan perubahan karakteristik olahan jagung selama proses perendaman dan perebusan yang dapat memengaruhi laju hidrolisis pati dan penyerapan glukosa selama pencernaan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap sifat fisikokimia dan karakteristik gizi diperlukan untuk mendukung interpretasi indeks glikemik yang dihasilkan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan menghasilkan derajat gelatinisasi yang lebih tinggi (31,57%) dibandingkan kontrol (12,5%). Secara teoritis, peningkatan derajat gelatinisasi meningkatkan aksesibilitas pati terhadap enzim pencernaan sehingga dapat meningkatkan respons glikemik. Namun demikian, pada penelitian ini perlakuan justru menunjukkan kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa respons glikemik tidak hanya dipengaruhi oleh derajat gelatinisasi, tetapi kemungkinan juga melibatkan mekanisme lain selama proses



modifikasi nikstamalisasi. Di sisi lain, ukuran partikel olahan jagung perlakuan dan kontrol menunjukkan rentang yang relatif setara (perlakuan 185–330 μm ; kontrol 141–333), sehingga ukuran partikel diduga bukan faktor utama penyebab kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah pada perlakuan. Oleh karena itu, kecenderungan indeks glikemik tersebut kemungkinan berkaitan dengan perubahan karakteristik gizi olahan jagung selama modifikasi nikstamalisasi.

Modifikasi nikstamalisasi memengaruhi beberapa karakteristik olahan jagung, terutama kandungan serat pangan dan kalsium. Perendaman jagung dalam larutan kapur secara nontermal menghasilkan kadar serat pangan total yang lebih rendah (12,51%) dibandingkan kontrol (14,87%), yang diduga berkaitan dengan pelepasan perikarp selama proses pengolahan. Sebaliknya, kadar kalsium pada perlakuan teramati lebih tinggi (17,97 mg/100 g) dibandingkan kontrol (4,91 mg/100 g), yang kemungkinan berkaitan dengan difusi ion kalsium ke dalam matriks jagung selama pengolahan. Di sisi lain, komposisi zat gizi lain seperti karbohidrat, protein, lemak, dan pati relatif tidak menunjukkan perbedaan antara perlakuan dan kontrol. Profil asam amino secara umum juga cenderung stabil, meskipun kandungan arginin relatif lebih rendah pada perlakuan. Kadar serat pangan total pada perlakuan tampaknya belum dapat sepenuhnya menjelaskan kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah karena fraksi serat larut yang umumnya berkontribusi terhadap penurunan indeks glikemik menunjukkan nilai yang relatif setara antara perlakuan (11,53%) dan kontrol (11,46%). Meskipun demikian, kadar kalsium yang lebih tinggi pada perlakuan menjadi salah satu karakteristik yang berpotensi berkontribusi terhadap kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah. Kalsium diketahui dapat berinteraksi dengan matriks pangan, khususnya pati, sehingga berpotensi memengaruhi pencernaan pati dan ketersediaan glukosa selama pencernaan. Namun demikian, mekanisme spesifiknya masih memerlukan verifikasi lebih lanjut.

Hasil analisis sensori menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada beberapa atribut sensori antara sampel perlakuan dan kontrol. Meskipun demikian, tingkat penerimaan panelis secara keseluruhan terhadap kedua sampel cenderung serupa. Secara spesifik, sampel perlakuan cenderung lebih diterima pada atribut tekstur dan rasa, sedangkan sampel kontrol menunjukkan kecenderungan penerimaan yang lebih baik pada atribut warna dan aroma. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi dapat memengaruhi karakteristik sensori olahan jagung dengan kecenderungan penerimaan yang berbeda pada setiap atribut sensori.

Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi berpotensi menghasilkan olahan jagung dengan indeks glikemik yang cenderung lebih rendah dibandingkan kontrol. Kecenderungan tersebut mengindikasikan bahwa proses modifikasi nikstamalisasi kemungkinan memengaruhi indeks glikemik melalui perubahan karakteristik olahan jagung selama pengolahan. Dari aspek sensori, tingkat penerimaan panelis terhadap perlakuan dan kontrol secara keseluruhan relatif setara. Temuan ini menunjukkan bahwa olahan jagung hasil modifikasi tahap nikstamalisasi memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai pendekatan pengolahan jagung dengan indeks glikemik sedang, tanpa mengurangi tingkat penerimaan sensori.

Kata Kunci: indeks glikemik, modifikasi nikstamalisasi, olahan jagung, penerimaan sensori, sifat fisikokimia

SUMMARY

ASNAWI BASO. Effect of Modified Nixtamalization Stage on Glycemic Index and Characteristics of Processed Corn Product (Kambose). Supervised by RIMBAWAN and LILIK KUSTIYAH

Diabetes mellitus is a metabolic disease whose prevalence continues to increase globally and is closely associated with impaired blood glucose regulation. Carbohydrate quality is an important dietary factor influencing glycemic response. Corn is a carbohydrate source with potential for development as an alternative staple food due to its relatively higher dietary fiber content compared with rice. The glycemic index of corn-based products may be influenced by the processing methods employed. One common processing method applied to corn is nixtamalization, which involves cooking and soaking corn in an alkaline solution. The nixtamalization modification evaluated in this study consisted of soaking corn in a lime solution prior to cooking. This processing method was inspired by the traditional corn-processing practices of Buton Island and may influence glycemic index values through changes in the characteristics of the resulting corn product.

This study aimed to analyze the effect of modified nixtamalization on the glycemic index and characteristics of processed corn, including physicochemical and nutritional properties. In addition, a hedonic test was conducted to evaluate consumer acceptance of corn products produced through the modified nixtamalization process. The modification consisted of soaking corn in a lime solution without heating prior to boiling, while the control treatment involved soaking corn in water. Glycemic index measurements were performed according to ISO 26642:2010. Physicochemical properties were evaluated through analyses of degree of gelatinization and particle size distribution, whereas nutritional characteristics were assessed through proximate composition, starch, dietary fiber, calcium, and amino acid profile analyses. Sensory acceptance was evaluated using a 9-point hedonic scale, where a score of 1 indicated “dislike extremely” and a score of 9 indicated “like extremely”.

The results showed that the modified nixtamalization treatment produced a slightly lower glycemic index value (56.4) than the control (57.5). This tendency may be associated with changes in the characteristics of the processed corn product during soaking and boiling, which could affect the rate of starch hydrolysis and glucose absorption during digestion. Therefore, evaluations of physicochemical and nutritional characteristics were conducted to support the interpretation of the observed glycemic index values.

Physicochemical analysis revealed that the treatment resulted in a higher degree of gelatinization (31.57%) than the control (12.50%). Theoretically, a higher degree of gelatinization is generally associated with increased starch accessibility to digestive enzymes, potentially leading to a higher glycemic response. However, in this study, the treatment exhibited a tendency toward a lower glycemic index than the control. This finding suggests that glycemic response may not be determined solely by the degree of gelatinization but may also involve other mechanisms associated with the modified nixtamalization process. In contrast, particle size distributions were relatively similar between the treatment and control samples (185–330 μm and 141–333 μm , respectively), indicating that particle size was unlikely to be the primary factor contributing to



the observed tendency toward a lower glycemic index. Consequently, the lower glycemic index tendency may be related to changes in the nutritional characteristics of the processed corn product.

The modified nixtamalization process affected several nutritional characteristics, particularly dietary fiber and calcium content. Nonthermal soaking of corn in a lime solution resulted in a lower total dietary fiber content (12.51%) than that of the control (14.87%), which may be associated with pericarp removal during processing. In contrast, calcium content was markedly higher in the treatment (17.97 mg/100 g) than in the control (4.91 mg/100 g), likely due to the diffusion of calcium ions into the corn matrix during processing. Other nutritional components, including carbohydrates, protein, fat, and starch, showed relatively similar values between treatments. The amino acid profile also remained generally stable, although arginine content was relatively lower in the treatment than in the control. The total dietary fiber content in the treatment does not appear to fully explain the tendency toward a lower glycemic index because soluble dietary fiber, which is generally associated with glycemic index reduction, remained relatively similar between the treatment (11.53%) and the control (11.46%). Nevertheless, the higher calcium content observed in the treatment may have contributed to the lower glycemic index tendency. Calcium is known to interact with food matrices, particularly starch, and may influence starch digestibility and glucose availability during digestion. However, the specific mechanisms involved require further investigation.

Sensory analysis showed significant differences in several sensory attributes between the treatment and control samples. Nevertheless, overall consumer acceptance of both products was relatively similar. Specifically, the treatment sample tended to receive higher acceptance scores for texture and taste, whereas the control sample tended to be preferred for color and aroma. These findings indicate that modified nixtamalization may influence the sensory characteristics of processed corn products, resulting in different acceptance tendencies across sensory attributes.

Overall, this study suggests that modified nixtamalization has the potential to produce corn products with a slightly lower glycemic index than the control treatment. This tendency indicates that the modified nixtamalization process may influence glycemic index values through changes in the characteristics of the processed corn product during processing. From a sensory perspective, overall panelist acceptance was relatively similar between the treatment and control products. These findings suggest that modified nixtamalization may serve as a promising processing approach for producing corn products with a moderate glycemic index while maintaining overall sensory acceptance.

Keywords: corn products, glycemic index, modified nixtamalization, physicochemical properties, sensory acceptance



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PENGARUH MODIFIKASI TAHAP NIKSTAMALISASI TERHADAP INDEKS GLIKEMIK DAN KARAKTERISTIK OLAHAN JAGUNG (KAMBOSE)

ASNAWI BASO

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Ilmu Gizi

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Pengaruh Modifikasi Tahap Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik dan Karakteristik Olahan Jagung (Kambose)

Nama : Asnawi Baso

NIM : I1504221001

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Rimbawan

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Lilik Kustiyah, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Rimbawan
NIP 196204061986031002

Dekan Fakultas Kedokteran dan Gizi :
Dr. dr. Ivan Rizal Sini, GDRM., MMIS., MBA.,
FRANZCOG., Sp. OG.
NPI 202501197205091001

Tanggal Ujian: 12 Juni 2026

Tanggal Lulus: 08 JUL 2026



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Karya ilmiah ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan pada bulan Februari hingga Desember 2024 dengan judul “Pengaruh Modifikasi Tahap Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik dan Karakteristik Olahan Jagung (Kambose)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Bapak Prof. Dr. Rimbawan dan Ibu Dr. Ir. Lilik Kustiyah, M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberikan saran selama proses penelitian hingga penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada seluruh keluarga, Bapak La Baso, Ibu Wa Hadi, Bapak Saidiman Mpaleka, dan Ibu Awia Rahimahullah selaku orang tua, Asriani Saidiman selaku istri, serta Aisyah Salsabila Asnawi, Annisa Hurun In Asnawi, Aliyah Al Munawaroh Asnawi selaku anak atas dukungan, doa, dan kasih sayang yang senantiasa diberikan kepada penulis selama proses penyusunan tesis ini. Terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman Pascasarjana Gizi 2022, sekretariat Pascasarjana Gizi IPB, subjek uji organoleptik dan indeks glikemik, serta seluruh pihak yang telah membantu, semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas dengan kebaikan yang berlipat.

Karya ilmiah ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pengembangan produk olahan jagung dengan karakteristik indeks glikemik yang lebih mendukung pengendalian glukosa darah, sehingga berpotensi menjadi alternatif pangan bagi pencegahan dan pengendalian diabetes. Selain itu, karya ilmiah ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pangan dan gizi.

Bogor, Juli 2026

Asnawi Baso



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karakteristik Jagung sebagai Bahan Pangan	4
2.2 Kambose sebagai Produk Olahan Jagung Tradisional	4
2.3 Nikstamalisasi dan Pengaruhnya terhadap Karakteristik Jagung	5
2.4 Faktor-Faktor yang memengaruhi Indeks Glikemik Pangan	6
III KERANGKA PEMIKIRAN	8
IV METODE	9
4.1 Desain, Lokasi dan Waktu	9
4.2 Alat dan Bahan	9
4.3 Tahap Penelitian	9
4.4 Pengolahan dan Analisis Data	12
4.5 Definisi Operasional	13
V HASIL DAN PEMBAHASAN	14
5.1 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik Olahan Jagung	14
5.2 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Karakteristik Fisikokimia Olahan Jagung	17
5.3 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Karakteristik Gizi Olahan Jagung	19
5.4 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Penerimaan Sensori Olahan Jagung	31
5.5 Pembahasan Umum	35
5.6 Keterbatasan	36
VI SIMPULAN DAN SARAN	37
6.1 Simpulan	37
6.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	46
RIWAYAT HIDUP	65



DAFTAR TABEL

1	Karakteristik responden uji indeks glikemik	14
2	Indeks glikemik olahan jagung (Kambose)	16
3	Kandungan zat gizi, pati, dan serat olahan jagung (Kambose)	19
4	Kadar kalsium dan profil asam amino olahan jagung (Kambose)	26
5	Kandungan asam amino esensial dan skor asam amino olahan jagung (Kambose) perlakuan dan kontrol	30
6	Hasil uji organoleptik olahan jagung (Kambose)	32

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pemikiran pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung/Kambose	8
2	Kurva respons glikemik pangan referensi, pangan perlakuan dan pangan uji	15
3	Ukuran partikel olahan jagung (Kambose) perlakuan dan kontrol	18

DAFTAR LAMPIRAN

1	Keterangan lolos kaji etik (<i>ethical approval</i>)	47
2	Naskah penjelasan sebelum persetujuan dan lembar persetujuan (<i>informed consent</i>)	48
3	Prosedur analisis sifat fisikokimia	51
4	Prosedur analisis karakteristik gizi	52
5	Rumus iAUC dan indeks glikemik	58
6	Data karakteristik responden pada tahap screening	59
7	Data pengukuran glukosa darah	60
8	Hasil perhitungan iAUC	61
9	Hasil perhitungan indeks glikemik olahan jagung perlakuan dan kontrol	62
10	Kuesioner uji organoleptik (hedonik)	63
11	Data hasil uji hedonik	64

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes melitus merupakan penyakit metabolik kronis yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat gangguan sekresi insulin, resistensi insulin, atau keduanya. Diabetes seiring waktu dapat menyebabkan kerusakan serius pada berbagai organ, termasuk jantung, pembuluh darah, mata, ginjal, dan sistem saraf (WHO 2023). Secara global, estimasi prevalensi diabetes melitus mencapai 11,1% pada tahun 2024, dengan sekitar 3,4 juta kematian pada kelompok usia 20-79 tahun akibat diabetes atau komplikasinya. Indonesia termasuk dalam lima negara dengan jumlah penderita diabetes tertinggi di dunia (IDF 2025). Prevalensi diabetes di Indonesia meningkat dari 10,8% pada Riskesdas 2018 menjadi 11,7% pada Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 (Kemenkes RI 2018; Kemenkes RI 2023).

Diet merupakan komponen penting dalam pencegahan dan pengendalian diabetes. Kualitas karbohidrat yang dikonsumsi dapat berdampak signifikan pada pengendalian glukosa darah (Bian *et al.* 2026). Indeks glikemik merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengklasifikasikan pangan berdasarkan potensinya dalam meningkatkan kadar glukosa darah (Whitney dan Rolfes 2019). Nilai indeks glikemik suatu pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik internal meliputi komposisi zat gizi seperti amilosa, lemak, protein, serat pangan dan pati resistan, serta senyawa antinutrien seperti asam fitat. Selain faktor internal, indeks glikemik juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti metode pemasakan, pengolahan, dan perendaman yang memengaruhi indeks glikemik dan pencernaan pati (Lal *et al.* 2021). Selain itu, beberapa faktor yang juga berpengaruh terhadap indeks glikemik pangan di antaranya derajat gelatinisasi pati dan ukuran partikel (Rimbawan dan Siagian 2004).

Jagung merupakan salah satu sumber karbohidrat utama di dunia dan menjadi bahan pangan pokok kedua setelah beras di Indonesia, terutama di daerah pedesaan. Jagung banyak diproduksi dan dikonsumsi di daerah-daerah marginal karena memiliki daya adaptasi yang luas (Widowati 2012). Di Buton Selatan, jagung oleh masyarakat setempat diolah menjadi berbagai produk tradisional, salah satunya adalah Kambose. Kambose merupakan olahan jagung yang dimasak melalui proses perebusan dalam waktu tertentu hingga mencapai tekstur lunak.

Meskipun secara umum jagung sering dianggap sebagai alternatif pangan bagi penderita diabetes, nilai indeks glikemik olahan jagung sangat dipengaruhi oleh metode pengolahannya. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa Kambose yang diolah melalui perebusan dalam waktu lama memiliki nilai indeks glikemik yang tergolong tinggi (72). Kondisi tersebut kemungkinan berkaitan dengan terjadinya gelatinisasi pati secara intensif selama proses pemanasan, yang meningkatkan ketersediaan pati terhadap enzim pencernaan sehingga mempercepat penyerapan glukosa (Karimuna *et al.* 2018).

Selain pemasakan, tahap perendaman juga merupakan bagian penting dalam pengolahan sereal, termasuk jagung. Proses perendaman dapat meningkatkan kadar air bahan pangan sehingga mempermudah proses pengolahan selanjutnya, seperti pemasakan (Novita *et al.* 2019). Di Pulau Buton, terdapat bentuk pengolahan jagung secara tradisional yang direndam dalam larutan kapur sebelum



proses pemasakan, yang merupakan bentuk adaptasi lokal dari prinsip nikstamalisasi. Nikstamalisasi merupakan proses pengolahan jagung menggunakan larutan alkali, umumnya kalsium hidroksida, yang melibatkan tahap pemasakan diikuti perendaman (*steeping*).

Nikstamalisasi pada jagung dilaporkan dapat memengaruhi berbagai karakteristik pangan, termasuk sifat fisikokimia, komposisi gizi, dan karakteristik sensori produk yang dihasilkan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan alkali selama proses nikstamalisasi dapat meningkatkan difusi ion kalsium ke dalam matriks jagung serta memengaruhi struktur pati selama proses pemasakan dan perendaman (Febrianto *et al.* 2014). Perubahan tersebut dilaporkan berkaitan dengan perubahan derajat gelatinisasi, karakteristik pati, dan interaksi antar komponen pangan yang berpotensi memengaruhi ketersediaan pati terhadap enzim pencernaan (Karimuna *et al.* 2018). Selain itu, proses nikstamalisasi juga dilaporkan dapat memengaruhi beberapa karakteristik gizi seperti serat pangan dan profil asam amino tertentu, meskipun perubahan pada komponen gizi lainnya cenderung relatif bervariasi antar penelitian (Bello-Pérez *et al.* 2015; Mariscal-Moreno *et al.* 2017; Sunico *et al.* 2021). Dari aspek sensori, perlakuan nikstamalisasi dilaporkan dapat memengaruhi atribut tekstur, rasa, warna, dan aroma olahan jagung, bergantung pada kondisi proses yang digunakan (Palacios-Pola *et al.* 2025). Berbagai temuan tersebut menunjukkan bahwa proses nikstamalisasi dapat menghasilkan karakteristik olahan jagung yang berbeda, yang diduga berkaitan dengan perubahan struktur pangan selama pengolahan dan berpotensi memengaruhi indeks glikemik dan karakteristik sensori produk yang dihasilkan.

Pada penelitian nikstamalisasi sebelumnya, pengolahan umumnya masih berfokus pada perlakuan termal melalui variasi suhu, lama pemasakan, durasi perendaman, serta jenis dan konsentrasi larutan alkali. Sementara itu, pendekatan modifikasi tahap nikstamalisasi melalui perendaman jagung dalam larutan kapur secara nontermal masih relatif terbatas dikaji, khususnya terkait pengaruhnya terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung yang dihasilkan. Perbedaan tahapan proses tersebut diduga dapat menghasilkan karakteristik pangan yang berbeda meskipun menggunakan bahan pangan yang sama. Selain itu, kajian yang mengintegrasikan evaluasi indeks glikemik dengan sifat fisikokimia, karakteristik gizi, dan penerimaan sensori pada olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi juga masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung sebagai pendekatan ilmiah terhadap praktik pengolahan tradisional di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung (Kambose). Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik olahan jagung (Kambose)?

- b. Bagaimana pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap sifat fisikokimia olahan jagung (Kambose), meliputi derajat gelatinisasi dan ukuran partikel?
- c. Bagaimana pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap karakteristik gizi olahan jagung (Kambose), meliputi kandungan zat gizi (proksimat), pati, serat pangan, kalsium, dan profil asam amino?
- d. Bagaimana pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap penerimaan sensori olahan jagung (Kambose)?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan umum

Secara umum penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung (kambose).

1.3.2 Tujuan khusus

Untuk mencapai tujuan umum penelitian, penelitian ini dirancang dengan beberapa tujuan khusus yang mencakup aspek indeks glikemik, sifat fisikokimia, karakteristik gizi, dan penerimaan sensori olahan jagung (Kambose). Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik olahan jagung (Kambose).
- b. Menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap sifat fisikokimia olahan jagung (Kambose), meliputi derajat gelatinisasi dan ukuran partikel.
- c. Menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap karakteristik gizi olahan jagung (Kambose), meliputi kandungan zat gizi (proksimat), pati, serat pangan, kalsium, dan profil asam amino.
- d. Menganalisis pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap penerimaan sensori olahan jagung (Kambose).

1.4 Manfaat

- a. Memberi informasi ilmiah mengenai teknik pengolahan jagung yang dapat menghasilkan produk dengan indeks glikemik yang moderat sehingga dapat membantu individu dengan diabetes dalam menghindari konsumsi makanan dengan indeks glikemik tinggi.
- b. Dapat menjadi bahan referensi dalam pengembangan produk pangan berbasis jagung yang lebih sesuai dengan preferensi konsumen, bergizi dan bermanfaat bagi kesehatan.



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Jagung sebagai Bahan Pangan

Jagung merupakan salah satu sumber karbohidrat utama yang banyak dikonsumsi di berbagai wilayah dunia, termasuk Indonesia (Amalia *et al.* 2011). Komponen terbesar dalam jagung adalah pati, disertai protein, lemak, serat pangan, vitamin, dan mineral dalam jumlah yang bervariasi tergantung varietas dan kondisi pertumbuhan (Aswatan dan Leomitra 2009; Listyaningsih *et al.* 2018). Pati tersusun atas amilosa dan amilopektin dengan proporsi yang dapat memengaruhi sifat fungsional pangan, khususnya pencernaan pati dan respons glikemik (Devi *et al.* 2024). Selain itu, kandungan serat pangan pada jagung yang relatif lebih tinggi dibandingkan beras (Kemenkes RI 2020) berpotensi memperlambat proses pencernaan dan absorpsi glukosa, sehingga menghasilkan respons glikemik yang lebih rendah.

Biji jagung terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu perikarp, endosperma, dan lembaga. Endosperm merupakan bagian terbesar dari biji jagung dan menjadi lokasi utama penyimpanan pati (70-75%) dan protein (8-12%) (Han *et al.* 2025). Granula pati dalam endosperma jagung terenkapsulasi dalam matriks protein yang didominasi oleh zein. Pada endosperma vitreous, granula pati tersusun lebih rapat dan kompak karena dikelilingi oleh matriks protein yang padat, sedangkan pada endosperma floury struktur granula pati cenderung lebih renggang dan berpori akibat matriks protein yang lebih tipis (Kljak *et al.* 2018). Struktur internal tersebut berpotensi memengaruhi karakteristik gelatinisasi, ketahanan terhadap hidrolisis enzimatis, dan pencernaan pati.

Jagung memiliki berbagai varietas dengan karakteristik morfologi dan komposisi yang berbeda, termasuk jagung varietas lokal yang banyak dibudidayakan masyarakat di berbagai daerah Indonesia. Jagung varietas lokal umumnya merupakan hasil seleksi berulang oleh petani berdasarkan kemampuan adaptasi terhadap lingkungan, produktivitas, dan karakteristik pangan yang sesuai dengan preferensi masyarakat setempat (Yasin *et al.* 2014). Perbedaan varietas dapat memengaruhi proporsi amilosa dan amilopektin, kandungan protein, serat pangan, serta karakteristik fisik jagung (Álvarez-Iglesias *et al.* 2021; Kljak *et al.* 2024). Variasi kandungan zat gizi antar varietas tersebut berpotensi memengaruhi perubahan fisikokimia selama pengolahan dan karakteristik produk akhir yang dihasilkan.

Selama proses pengolahan pangan, pemanasan, perendaman, dan perlakuan alkali dapat mengubah struktur granula pati serta interaksinya dengan komponen lain dalam matriks jagung. Gelatinisasi selama pemanasan menyebabkan granula pati menjadi lebih terbuka sehingga lebih mudah dihidrolisis oleh enzim pencernaan (Tester *et al.* 2006). Di sisi lain, perlakuan alkali dapat mendorong terbentuknya kompleks amilosa, menghambat pelepasannya selama pemasakan, serta memodifikasi interaksinya dengan lipid (Mondragon *et al.* 2004). Perubahan struktur dan interaksi tersebut berpotensi memodifikasi karakteristik fisikokimia pangan, termasuk pencernaan pati dan respons glikemik olahan jagung.

2.2 Kambose sebagai Produk Olahan Jagung Tradisional

Kambose merupakan salah satu olahan jagung tradisional yang banyak

dikonsumsi masyarakat di Sulawesi Tenggara. Istilah Kambose secara umum merujuk pada olahan jagung rebus, baik menggunakan jagung muda maupun jagung tua. Namun, jagung tua lebih umum digunakan karena memiliki masa simpan yang lebih panjang dan sesuai dengan pola produksi jagung masyarakat yang umumnya berlangsung dua kali musim tanam dalam setahun. Jagung tua memiliki struktur biji dan endosperma yang lebih keras akibat kadar air yang lebih rendah, sehingga memerlukan waktu pemasakan yang relatif lama untuk menghasilkan tekstur yang lunak dan mudah dikonsumsi. Oleh karena itu, proses perebusan dalam pengolahan Kambose tidak hanya berfungsi untuk melunakkan biji jagung, tetapi juga meningkatkan palatabilitasnya. Kambose umumnya dikonsumsi sebagai makanan pokok dengan berbagai jenis lauk (Ramadhan *et al.* 2025).

Meskipun berbahan dasar jagung, karakteristik kambose dapat berbeda dibandingkan produk olahan jagung lainnya, terutama dari aspek tekstur dan pencernaan pati. Proses perebusan jagung tua dalam waktu yang lama dapat meningkatkan derajat gelatinisasi pati, sehingga struktur granula pati menjadi lebih mudah diakses oleh enzim pencernaan. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan laju hidrolisis pati dan respons glikemik pangan. Karimuna *et al.* (2018) melaporkan bahwa Kambose yang diolah melalui perebusan intensif memiliki nilai indeks glikemik yang tergolong tinggi (72). Temuan tersebut menunjukkan bahwa indeks glikemik pangan berbasis jagung tidak hanya ditentukan oleh bahan bakunya, tetapi juga oleh metode pengolahan yang digunakan.

2.3 Nikstamalisasi dan Pengaruhnya terhadap Karakteristik Jagung

Nikstamalisasi merupakan proses pengolahan jagung menggunakan perlakuan alkali, umumnya kalsium hidroksida, yang mencakup tahap pemasakan dan perendaman. Metode ini telah lama diterapkan pada berbagai pangan tradisional berbasis jagung di Meksiko dan negara-negara di Amerika Latin, seperti tortilla dan tamale (Villa *et al.* 2017; Hassan *et al.* 2023). Selama nikstamalisasi, air dan larutan alkali dapat berdifusi ke dalam jaringan jagung sehingga meningkatkan hidrasi endosperma dan granula pati. Kondisi tersebut menyebabkan matriks jagung menjadi lebih lunak dan lebih mudah diolah (Santiago-Ramos *et al.* 2018; Pineda-Gomez *et al.* 2020).

Perubahan kondisi selama nikstamalisasi juga dapat memodifikasi sifat fisikokimia pati jagung (Ferdiansyah *et al.* 2020), terutama melalui proses gelatinisasi. Gelatinisasi menyebabkan struktur granula pati berubah dari bentuk yang lebih teratur menjadi lebih terbuka sehingga meningkatkan aksesibilitas pati terhadap enzim hidrolitik. Kondisi tersebut menyebabkan pati lebih mudah mengalami hidrolisis selama proses pencernaan. Di sisi lain, perlakuan alkali juga berpotensi memicu interaksi antara pati dan ion kalsium yang dapat memengaruhi tingkat pencernaan pati (Zakiyah *et al.* 2022). Perubahan fisikokimia tersebut menjadi salah satu faktor yang berpotensi memengaruhi indeks glikemik jagung.

Perubahan struktur selama nikstamalisasi juga dapat memengaruhi komposisi zat gizi jagung. Nikstamalisasi dapat memengaruhi komposisi kandungan gizi olahan jagung seperti kadar air, abu, protein, lemak, dan karbohidrat, akibat perubahan struktur yang terjadi selama pengolahan. Peningkatan kandungan mineral, terutama kalsium, menjadi salah satu



karakteristik yang banyak dikaitkan dengan proses nikstamalisasi akibat penggunaan larutan alkali berbasis kapur. Perubahan tersebut berpotensi meningkatkan nilai gizi olahan jagung, khususnya sebagai sumber mineral pangan. Selain kandungan mineral, proses nikstamalisasi juga berpotensi memengaruhi stabilitas asam amino, pati dan serat pangan (Escalante-Aburto *et al.* 2020). Kondisi pemanasan dan perlakuan alkali dapat menyebabkan perubahan pada beberapa komponen pangan yang sensitif terhadap proses pengolahan. Perubahan tersebut tidak hanya berkaitan dengan jumlah komponen gizi yang terkandung dalam pangan, tetapi juga dengan potensi fisiologis olahan jagung yang dihasilkan.

Perubahan yang terjadi selama nikstamalisasi dapat tercermin pada karakteristik sensori olahan jagung yang dihasilkan. Pelunakan biji jagung selama pemasakan umumnya menghasilkan tekstur yang lebih lunak, sedangkan perlakuan alkali pada beberapa produk olahan jagung dilaporkan memengaruhi tingkat kekenyalan dan kerenyahan produk (Palacios-Pola *et al.* 2021). Selain tekstur, proses pengolahan juga dapat memengaruhi rasa dan warna olahan jagung (Vázquez-Carrillo *et al.* 2025). Perbedaan karakteristik sensori tersebut selanjutnya dapat memengaruhi tingkat penerimaan produk oleh konsumen.

Berbagai proses yang terjadi selama nikstamalisasi menunjukkan bahwa metode pengolahan tersebut dapat memengaruhi karakteristik olahan jagung yang dihasilkan. Variasi kondisi pengolahan, seperti suhu pemasakan, durasi perendaman, dan konsentrasi larutan alkali, berpotensi menghasilkan perbedaan sifat fisikokimia, pencernaan pati, respons glikemik, serta karakteristik sensori olahan jagung. Oleh karena itu, modifikasi nikstamalisasi menjadi penting untuk dikaji dalam memahami keterkaitan antara proses pengolahan dan karakteristik olahan jagung yang dihasilkan.

2.4 Faktor-Faktor yang memengaruhi Indeks Glikemik Pangan

Indeks glikemik merupakan ukuran yang digunakan untuk mengklasifikasikan pangan berdasarkan kemampuannya dalam meningkatkan kadar glukosa darah setelah dikonsumsi (Eldakhakhny *et al.* 2021). Nilai indeks glikemik diperoleh dengan membandingkan luas area di bawah kurva respons glukosa darah setelah konsumsi pangan uji dengan pangan referensi. Berdasarkan nilainya, indeks glikemik pangan diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu rendah (<55), sedang (55–70), dan tinggi (>70) (Rimbawan dan Siagian 2004). Konsep indeks glikemik dikembangkan untuk menggambarkan bahwa pangan sumber karbohidrat dapat memberikan respons glukosa darah yang berbeda meskipun memiliki kandungan karbohidrat yang relatif serupa.

Respons glikemik pangan tidak hanya ditentukan oleh jumlah karbohidrat, tetapi juga oleh jenis dan karakteristik karbohidrat yang terkandung di dalamnya. Gula sederhana dan pati yang mudah dicerna berkontribusi lebih besar terhadap peningkatan glukosa darah setelah konsumsi. Sebaliknya, pati resistan dan polisakarida non pati tidak segera dicerna di usus halus, melainkan difermentasi di usus besar atau diekskresikan sehingga memberikan kontribusi yang lebih rendah terhadap peningkatan glukosa darah. Selain itu, fruktosa dan galaktosa tidak secara langsung tersedia sebagai glukosa setelah absorpsi karena terlebih dahulu mengalami metabolisme di hati (Pieters dan Jerling 2005). Kondisi tersebut

menunjukkan bahwa respons glikemik pangan dipengaruhi oleh karakteristik pencernaan dan metabolisme komponen karbohidrat yang dikonsumsi.

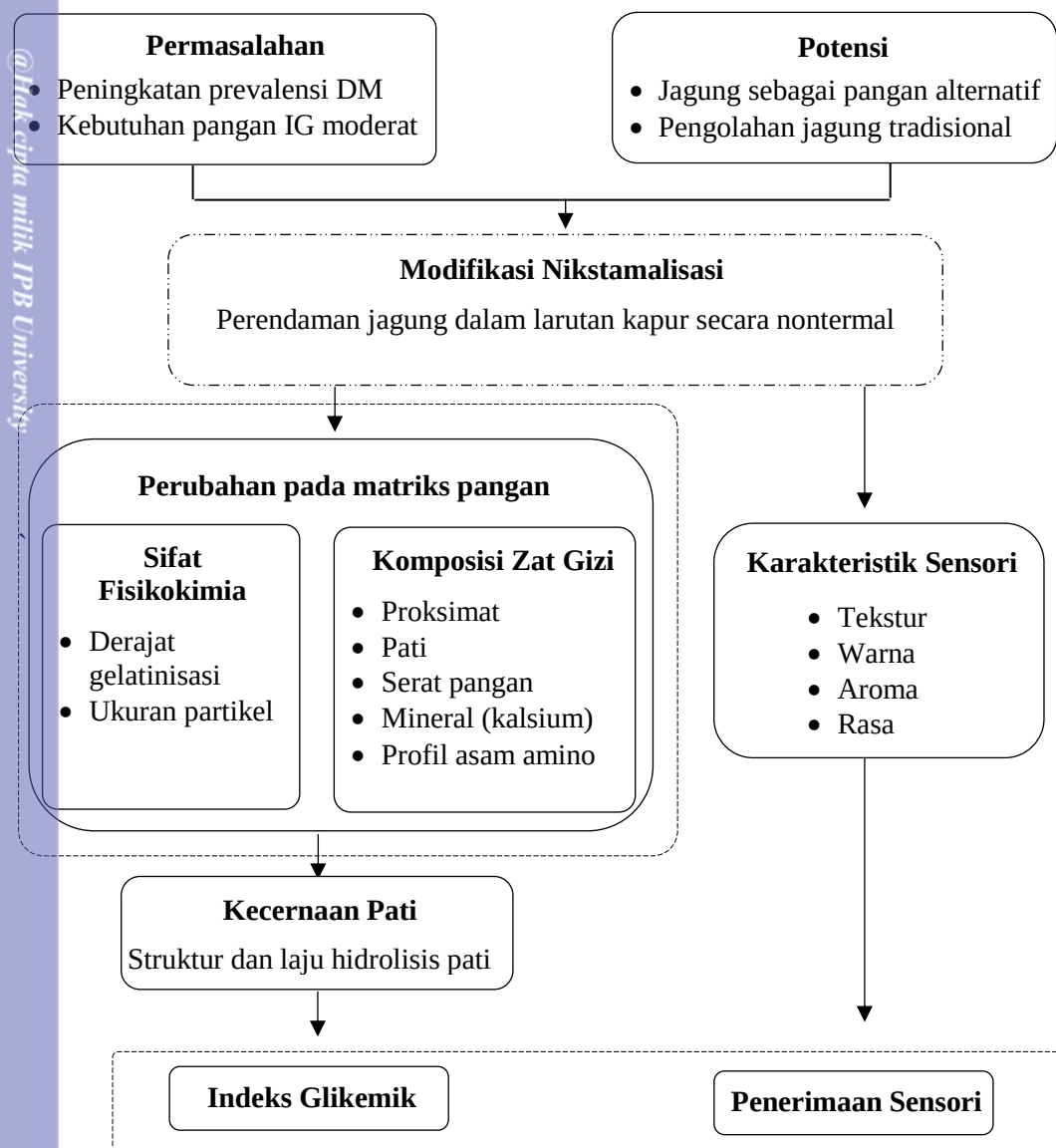
Nilai indeks glikemik pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor internal yang berkaitan dengan komposisi dan struktur pangan. Komponen seperti rasio amilosa dan amilopektin, kandungan serat pangan, protein, lemak, pati resisten, serta senyawa antinutrisi seperti asam fitat berperan dalam menentukan kecepatan pencernaan dan absorpsi karbohidrat (Lal *et al.* 2021). Pangan dengan kandungan amilosa dan serat pangan yang lebih tinggi cenderung memiliki nilai indeks glikemik yang lebih rendah karena struktur pati menjadi lebih sulit dihidrolisis oleh enzim pencernaan. Selain itu, interaksi antar komponen dalam matriks pangan juga dapat memengaruhi aksesibilitas pati terhadap enzim hidrolitik sehingga berkontribusi terhadap perbedaan respons glikemik antar pangan (Septianingrum *et al.* 2016).

Selain faktor internal, metode pengolahan pangan juga memiliki pengaruh penting terhadap indeks glikemik. Proses seperti pemasakan, perendaman, pengeringan, retrogradasi, perkecambahan, dan modifikasi termal dapat menyebabkan perubahan struktur pati yang memengaruhi tingkat pencernaan pati (Lal *et al.* 2021). Derajat gelatinisasi pati dan ukuran partikel pangan dilaporkan menjadi faktor yang berhubungan dengan kecepatan hidrolisis pati dan respons glukosa darah (Rimbawan dan Siagian 2004). Struktur pati yang mengalami gelatinisasi umumnya menjadi lebih mudah diakses oleh enzim pencernaan sehingga meningkatkan laju hidrolisis pati. Sebaliknya, pembentukan struktur pati yang lebih resisten selama pengolahan dapat memperlambat proses hidrolisis dan menurunkan respons glikemik pangan (Millati dan Nurhayati 2020).

Hubungan antara struktur pangan dan indeks glikemik dapat dijelaskan melalui mekanisme pencernaan pati. Perubahan struktur pati selama pengolahan memengaruhi aksesibilitas enzim terhadap granula pati, yang selanjutnya menentukan laju hidrolisis dan ketersediaan glukosa selama proses pencernaan (Lal *et al.* 2021). Oleh karena itu, indeks glikemik tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan karbohidrat, tetapi juga oleh karakteristik fisikokimia dan proses pengolahan yang memengaruhi struktur serta pencernaan pati. Dengan demikian, perubahan struktur selama proses pengolahan berpotensi menyebabkan perbedaan indeks glikemik pangan yang dihasilkan.



III KERANGKA PEMIKIRAN



Keterangan:

- · — · — Variabel perlakuan
- · — · — Variabel respons
- DM Diabetes Melitus
- IG Indeks Glikemik

Gambar 1 Kerangka pemikiran pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap indeks glikemik dan karakteristik olahan jagung/Kambose (Febrianto *et al.* 2014; Bello-Perez *et al.* 2015; Mariscal-Moreno *et al.* 2017; Karimuna *et al.* 2018; Lal *et al.* 2021; Sunico *et al.* 2021; IDF 2025; Palacios-Pola *et al.* 2025)

IV METODE

4.1 Desain, Lokasi dan Waktu

Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan desain *repeated measures* pada subjek yang sama untuk mengurangi variasi indeks glikemik antarindividu sehingga pengaruh perlakuan dapat diamati dengan lebih akurat. Pemilihan subjek dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan karakteristik fisiologis yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran indeks glikemik. Penelitian dilaksanakan setelah memperoleh persetujuan etik dari komisi etik penelitian untuk manusia IPB (*ethical approval*) (Lampiran 1), dan seluruh subjek memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*) (Lampiran 2) sebelum berpartisipasi. Selain pengukuran indeks glikemik, sifat fisikokimia, karakteristik gizi, dan penerimaan sensori dievaluasi melalui perbandingan antara olahan jagung hasil modifikasi tahap nikstamalisasi dan olahan jagung kontrol. Evaluasi tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh perlakuan terhadap karakteristik produk serta tingkat penerimaannya oleh panelis.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Desember 2024 di beberapa laboratorium di Institut Pertanian Bogor. Analisis karakteristik gizi dan sifat fisikokimia dilakukan di laboratorium percobaan makanan, laboratorium analisis zat gizi FEMA (sekarang FKGiz), laboratorium kimia terpadu IPB Baranangsiang, laboratorium riset unggulan IPB, serta layanan pengujian BRMP Pascapanen Pertanian, Bogor, Kementerian Pertanian. Pengujian indeks glikemik dan penerimaan sensori dilakukan di laboratorium klinik dan konseling gizi serta laboratorium organoleptik FEMA (sekarang FKGiz) IPB.

4.2 Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah jagung kuning varietas lokal Buton Selatan dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) *food grade*. Jagung kuning varietas lokal Buton Selatan diperoleh dari petani lokal setempat setelah memasuki masa panen, kemudian disortir untuk memilih biji yang seragam, utuh, dan bebas dari kerusakan fisik. Selanjutnya, bahan dibersihkan dari kotoran, dikeringkan, dan disiapkan untuk proses perlakuan. Kalsium hidroksida *food grade* digunakan untuk memenuhi persyaratan mutu untuk pengolahan pangan. Alat dan instrumen yang digunakan meliputi timbangan analitik, oven gravimetri, tanur, hot plate, water bath, digester dan unit distilasi Kjeltex, Soxhlet extractor, spektrofotometer UV-Vis, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), glucometer serta mikroskop digital VHX 7000.

4.3 Tahap Penelitian

4.3.1 Persiapan pangan uji

Perlakuan pada penelitian ini dilakukan melalui modifikasi tahap nikstamalisasi berupa perendaman jagung dalam larutan kalsium hidroksida 5% sebelum proses perebusan. Perlakuan tersebut dibandingkan dengan perendaman menggunakan air sebagai kontrol. Konsentrasi larutan kapur yang

digunakan mengacu pada rentang konsentrasi yang umum diterapkan dalam proses nikstamalisasi, yaitu 1–5% (Escalante-Aburto *et al.* 2020). Konsentrasi 5% dipilih karena dilaporkan mampu menghasilkan karakteristik sensori olahan jagung yang lebih baik, terutama pada atribut tekstur dan cita rasa (Febrianto *et al.* 2014).

Jagung pipil sebanyak 500 g diberi dua perlakuan sebelum dimasak, yaitu direndam dalam larutan kapur 5% atau direndam dalam air sebagai kontrol. Larutan kapur disiapkan dengan melarutkan 25 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam 500 mL air sehingga diperoleh konsentrasi 5% (b/v). Jagung kemudian direndam dengan rasio bahan terhadap larutan 1:1 (b/v). Proses perendaman perlakuan maupun kontrol dilakukan pada suhu ruang (28–30°C) selama 12 jam. Lama perendaman tersebut ditetapkan untuk merepresentasikan praktik pengolahan jagung yang umum dilakukan masyarakat serta menstandarkan kondisi proses penelitian. Jagung kemudian direbus dalam air mendidih selama 2 jam. Lama pemasakan ditetapkan berdasarkan uji pendahuluan yang menunjukkan bahwa jagung telah mencapai tingkat kematangan dan tekstur yang dapat dikonsumsi. Olahan jagung selanjutnya ditiriskan dari media pengolahan dan disiapkan untuk pengujian indeks glikemik.

4.3.2 Penentuan karbohidrat tersedia

Penentuan jumlah pangan uji dilakukan berdasarkan kandungan karbohidrat tersedia agar setiap subjek menerima jumlah karbohidrat yang setara selama pengukuran indeks glikemik. Karbohidrat tersedia dihitung dari selisih antara karbohidrat total dan serat pangan total berdasarkan hasil analisis proksimat. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan berat pangan uji yang dikonsumsi oleh subjek penelitian. Perhitungan karbohidrat tersedia dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Karbohidrat tersedia} = \text{Karbohidrat total} - \text{Serat pangan total}$$

4.3.3 Rekrutmen dan skrining subjek

Subjek direkrut secara sukarela melalui sosialisasi dan kontak pribadi pada mahasiswa IPB. Sebanyak 10 subjek terlibat dalam penelitian ini, terdiri atas 4 laki-laki dan 6 perempuan. Jumlah subjek mengacu pada rekomendasi ISO 26642:2010 yang menyatakan bahwa pengukuran indeks glikemik dapat dilakukan minimal pada 10 subjek sehat untuk memperoleh estimasi dengan variasi biologis yang dapat diterima.

Kriteria inklusi meliputi subjek berusia 18–35 tahun, memiliki kadar glukosa darah puasa normal (70–99 mg/dL), berstatus gizi normal (IMT 18,5–24,9 kg/m²), serta tidak sedang hamil atau menyusui bagi subjek perempuan. Kriteria eksklusi meliputi konsumsi obat atau suplemen yang dapat memengaruhi metabolisme glukosa, adanya gangguan kesehatan yang memengaruhi penyerapan makanan seperti diare atau muntah, serta kondisi sakit pada saat pengujian. Untuk memastikan kesesuaian kriteria, subjek menjalani skrining awal yang meliputi pengukuran kadar glukosa darah puasa, berat badan, tinggi badan, dan pengisian kuesioner terstruktur.

4.3.4 Pengukuran indeks glikemik

a. Persiapan subjek

Subjek diinstruksikan untuk berpuasa selama minimal 8 jam sebelum pengukuran, hanya diperbolehkan mengonsumsi air putih. Hal ini dilakukan untuk menghindari asupan makanan atau minuman lain yang dapat memengaruhi kadar glukosa darah. Selain itu, subjek juga disarankan menghindari aktivitas fisik yang berat di pagi hari serta tidur yang cukup pada malam sebelumnya.

b. Konsumsi pangan uji dan referensi

Dalam penelitian ini, subjek penelitian diberikan makanan yang mengandung 25 g karbohidrat tersedia baik makanan uji maupun referensi. Subjek diinstruksikan untuk menghabiskan pangan yang diberikan dalam waktu maksimal 15 menit. Penggunaan 25 g karbohidrat tersedia dilakukan karena jumlah pangan uji yang diperlukan untuk mencapai 50 g karbohidrat tersedia relatif besar sehingga berpotensi sulit untuk dihabiskan oleh subjek penelitian sebelum pengukuran glukosa darah berikutnya. Pendekatan ini masih dapat digunakan pada pangan dengan karakteristik tertentu sebagaimana mengacu pada ISO 26642:2010. Pengujian indeks glikemik dilakukan selama empat sesi kunjungan dengan interval satu minggu, terdiri atas dua kali pengujian pangan referensi dan dua kali pengujian pangan uji. Interval antar kunjungan pemeriksaan glukosa darah diterapkan sebagai periode *washout* untuk meminimalkan efek sisa (*carry-over effect*) dari pengujian sebelumnya dan menjaga kenyamanan subjek selama penelitian.

c. Pengukuran respons glikemik

Respons glikemik diukur melalui pengambilan sampel darah kapiler menggunakan metode *finger prick* dengan glukometer Sinoheart Safe-Accu dengan presisi pengukuran $SD < 6 \text{ mg/dL}$ pada kadar glukosa $< 100 \text{ mg/dL}$ dan $CV < 6\%$ pada kadar glukosa $\geq 100 \text{ mg/dL}$. Pengukuran dilakukan pada keadaan puasa sebagai nilai dasar (*baseline*), kemudian diulang pada menit ke-15, 30, 45, 60, 90, dan 120 setelah konsumsi pangan uji atau pangan referensi. Rangkaian pengukuran ini digunakan untuk menggambarkan perubahan kadar glukosa darah *postprandial* selama periode pengamatan.

4.3.5 Analisis sifat fisikokimia

Sifat fisikokimia dianalisis melalui pengukuran derajat gelatinisasi dan ukuran partikel. Derajat gelatinisasi dianalisis menggunakan metode *International Rice Research Institute* (IRRI) 1978, sedangkan ukuran partikel diamati secara mikroskopik dengan perbesaran 100x (Lampiran 3).

4.3.6 Analisis karakteristik gizi

Kandungan gizi dianalisis pada olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi maupun kontrol. Analisis proksimat meliputi kadar air dengan metode gravimetri, abu dengan metode pengabuan, protein dengan metode Kjeldahl, lemak dengan metode ekstraksi Soxhlet, karbohidrat dengan metode *by difference*, pati dengan metode titrimetri dan serat pangan dengan metode

enzimatis. Kadar kalsium dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), sedangkan profil asam amino dianalisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) (Lampiran 4).

4.3.7 Analisis penerimaan sensori

Penerimaan sensori dianalisis melalui uji hedonik terhadap pangan uji dan kontrol yang disajikan secara plain tanpa tambahan apa pun. Uji hedonik melibatkan 30 panelis semi terlatih dengan kriteria sehat, berusia ≥ 18 tahun, pernah melakukan uji organoleptik, tidak memiliki gangguan penciuman, tidak buta warna, tidak memiliki intoleransi atau gangguan pencernaan setelah mengonsumsi jagung, serta tidak mengonsumsi makanan yang memiliki rasa kuat seperti terlalu asam, pedas, pahit atau manis 1 jam sebelum uji organoleptik. Atribut yang dinilai meliputi warna, aroma, tekstur, dan rasa. Penilaian dilakukan menggunakan skala 1–9, dengan kategori 1 menunjukkan amat sangat tidak suka dan kategori 9 menunjukkan amat sangat suka.

4.4 Pengolahan dan Analisis Data

4.4.1 Pengolahan Data

Perhitungan indeks glikemik dilakukan dengan menggunakan metode trapezoid. Luas *incremental Area Under the Curve* (iAUC) untuk pangan referensi dan pangan uji dihitung sesuai dengan rekomendasi Brouns *et al.* (2005), sebagaimana tercantum pada Lampiran 5. Area di bawah *baseline* dikeluarkan dari penghitungan. Indeks glikemik dihitung untuk setiap subjek dengan membagi iAUC pangan uji dibagi iAUC pangan referensi dikalikan dengan 100 (Lampiran 5). Rata-rata indeks glikemik dihitung untuk keseluruhan masing-masing sampel penelitian.

Perhitungan sifat fisikokimia dilakukan terhadap parameter derajat gelatinisasi dan ukuran partikel sebagaimana dalam Lampiran 3. Perhitungan karakteristik gizi dilakukan berdasarkan hasil analisis proksimat dan komponen gizi lainnya yang meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, pati, serat pangan, kalsium, dan profil asam amino. Nilai setiap komponen dinyatakan dalam satuan persen (%) atau mg/100 g bahan, sesuai metode analisis masing-masing parameter.

Analisis penerimaan sensori dilakukan berdasarkan skor hedonik panelis terhadap atribut warna, aroma, rasa, tekstur, dan kesukaan keseluruhan. Nilai setiap atribut dihitung sebagai rata-rata skor panelis untuk memperoleh gambaran tingkat penerimaan masing-masing sampel.

4.4.2 Analisis data

Analisis statistik dilakukan menggunakan SPSS versi 25. Nilai indeks glikemik disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SEM (*Standard Error of the Mean*). Normalitas distribusi selisih nilai indeks glikemik antara perlakuan dan kontrol dievaluasi menggunakan uji Shapiro–Wilk. Perbedaan indeks glikemik antara kedua perlakuan dianalisis menggunakan uji *paired sample t-test*. Data sifat fisikokimia dan karakteristik gizi olahan jagung yang memiliki ulangan dianalisis menggunakan uji *independent t-test* dan disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD (*Standard Deviation*). Parameter tanpa ulangan analitik disajikan

secara deskriptif sebagai nilai tunggal. Penerimaan sensori dianalisis menggunakan uji Wilcoxon *signed-rank test* karena distribusi selisih skor antara pasangan pengamatan tidak memenuhi asumsi normalitas. Seluruh pengujian statistik dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($p < 0,05$).

4.5 Definisi Operasional

iAUC (*incremental Area Under the Curve*) merupakan ukuran luas area di bawah kurva dari grafik perubahan nilai glukosa darah subjek penelitian dari waktu ke waktu setelah mengonsumsi pangan uji dan referensi

Derajat gelatinisasi merupakan persentase pati tergelatinisasi yang ditentukan berdasarkan perbandingan absorbansi kompleks pati-iodin antara pati tergelatinisasi dan total pati menggunakan metode spektrofotometri

Glukometer adalah alat portabel dengan merek Sinoheart yang digunakan untuk mengukur kadar glukosa darah subjek penelitian

Glukosa darah adalah konsentrasi glukosa dalam darah yang diukur menggunakan alat glukometer pada sampel darah kapiler subjek penelitian

Indeks glikemik merupakan nilai yang menggambarkan respons glukosa darah setelah konsumsi pangan uji yang mengandung 25 g karbohidrat tersedia dibandingkan dengan pangan referensi (glukosa anhidrat), dihitung berdasarkan perbandingan nilai *incremental Area Under the Curve* (iAUC) selama 120 menit menurut ISO 26642:2010

Larutan kapur adalah larutan yang dibuat dengan cara mencampurkan 25 g kapur dengan 500 mL air yang diaduk secara merata (homogen)

Modifikasi nikstamalisasi merupakan perlakuan pengolahan jagung yang dilakukan melalui perendaman jagung dalam larutan kapur 5% secara nontermal sebelum tahap perebusan, sebagai modifikasi dari proses nikstamalisasi konvensional yang umumnya menggunakan pemasakan dalam larutan alkali

Olahan jagung merupakan jagung rebus yang sebelumnya direndam dalam air atau larutan kapur 5%

Pangan referensi merupakan makanan standar berupa glukosa murni (glukosa anhidrat) yang digunakan sebagai acuan untuk menghitung indeks glikemik pangan uji

Pangan uji merupakan makanan yang diuji dalam penelitian untuk mengevaluasi indeks glikemik, yakni olahan jagung baik pangan perlakuan atau pangan kontrol

Respons glikemik merupakan perubahan kadar glukosa darah setelah konsumsi pangan yang diamati pada titik waktu 0, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120 menit dengan satuan mg/dL

Status gizi merupakan Indeks Massa Tubuh (IMT) subjek penelitian yang ditentukan berdasarkan berat badan (kg) dibagi dengan kuadrat tinggi badan (m^2)

V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Indeks Glikemik Olahan Jagung

5.1.1 Karakteristik Responden Uji Indeks Glikemik

Karakteristik responden merupakan salah satu aspek penting dalam penelitian indeks glikemik karena respons glukosa darah setelah konsumsi pangan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor fisiologis individu. Variasi usia, status gizi, dan kondisi metabolik berpotensi memengaruhi regulasi glukosa darah serta sensitivitas insulin antar responden (Calvo-Malvar *et al.* 2025). Karakteristik responden pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1 untuk memberikan gambaran kondisi fisiologis dan metabolik responden sebelum pengujian indeks glikemik.

Tabel 1 Karakteristik responden uji indeks glikemik

Parameter	Karakteristik
Jenis kelamin	4 orang (laki-laki) 6 orang (perempuan)
Usia (tahun)	22,8±2
IMT (kg/m ²)	21,6±2
Glukosa darah puasa (mg/dL)	80,9±7,2

Responden yang terlibat dalam penelitian ini terdiri atas laki-laki dan perempuan dengan proporsi perempuan lebih besar dibandingkan laki-laki. Rata-rata usia responden sebesar 22,8±2,0 tahun menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kelompok usia dewasa muda. Rentang usia yang relatif sempit pada penelitian ini penting dalam pengujian indeks glikemik karena respons metabolik terhadap konsumsi karbohidrat dapat dipengaruhi oleh faktor usia. Pada kelompok usia dewasa muda, regulasi glukosa darah umumnya masih berlangsung secara optimal sehingga variasi respons glikemik akibat faktor fisiologis individu cenderung lebih kecil (Chia *et al.* 2018).

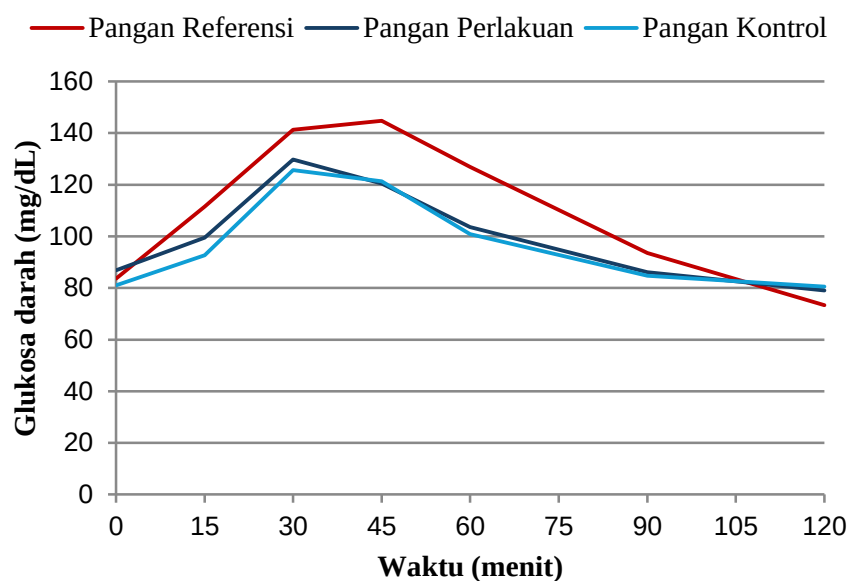
Nilai rerata indeks massa tubuh (IMT) responden sebesar 21,6±2,0 kg/m² menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada dalam kategori status gizi normal. Status gizi merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi metabolisme glukosa dan sensitivitas insulin pada individu (Raczowska *et al.* 2022). Responden dengan IMT yang relatif homogen diduga memiliki kemampuan regulasi glukosa darah yang tidak berbeda jauh antar individu. Kondisi tersebut penting dalam penelitian indeks glikemik untuk meminimalkan pengaruh perbedaan status gizi terhadap respons glukosa darah setelah konsumsi pangan uji.

Kadar glukosa darah puasa responden pada penelitian ini memiliki rata-rata sebesar 80,9±7,2 mg/dL, yang masih berada dalam rentang normal. Nilai tersebut menunjukkan bahwa responden tidak mengalami gangguan toleransi glukosa sebelum pengujian dilakukan. Selain itu, simpangan data yang relatif kecil pada seluruh parameter menunjukkan bahwa karakteristik responden dalam penelitian ini cenderung homogen. Homogenitas karakteristik responden

penting diperhatikan dalam pengujian indeks glikemik untuk mengurangi variasi biologis yang berasal dari faktor individu, sehingga respons glukosa darah yang diamati lebih merepresentasikan pengaruh pangan uji yang diberikan.

5.1.2 Respons Glukosa Darah *Postprandial*

Pengukuran respons glukosa darah dilakukan untuk menggambarkan perubahan kadar glukosa darah *postprandial* setelah konsumsi pangan referensi dan pangan uji. Perubahan kadar glukosa darah diamati selama 120 menit untuk mengevaluasi pola respons glikemik yang dihasilkan oleh masing-masing pangan. Kurva respons glukosa darah hasil pengukuran disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva respons glikemik pangan referensi, pangan perlakuan dan pangan uji

Kurva respons glukosa darah menunjukkan bahwa pangan perlakuan dan kontrol menghasilkan pola respons glikemik yang relatif lebih rendah dibandingkan pangan referensi selama periode pengamatan. Hal ini mengindikasikan bahwa karbohidrat pada pangan perlakuan dan kontrol lebih lambat dicerna dan diserap oleh tubuh dibanding pangan referensi, meskipun jumlah karbohidrat tersedia antara pangan setara. Dengan demikian, karakteristik pangan diduga berperan dalam memengaruhi dinamika respons glukosa darah setelah konsumsi.

Respons glukosa *postprandial* pangan perlakuan dan kontrol mencapai puncak yang lebih cepat (menit ke-30) dibandingkan pangan referensi (menit ke-45). Meskipun mencapai puncak respons glikemik *postprandial* lebih awal, pangan perlakuan dan kontrol menghasilkan puncak glukosa darah yang lebih rendah dibandingkan pangan referensi. Pangan perlakuan menghasilkan puncak glukosa darah sekitar 130 mg/dL, pangan kontrol sekitar 126 mg/dL, sedangkan pangan referensi sekitar 145 mg/dL. Selain itu, penurunan glukosa darah pada pangan perlakuan dan kontrol berlangsung lebih bertahap hingga

akhir periode pengamatan dibandingkan pangan referensi. Kondisi ini menunjukkan bahwa pangan perlakuan dan kontrol berpotensi memiliki indeks glikemik yang cenderung lebih moderat.

Perbedaan pola kurva respons glukosa darah juga menunjukkan bahwa pangan perlakuan berpotensi menghasilkan nilai *incremental Area Under the curve* (iAUC) yang lebih rendah dibandingkan pangan kontrol. Hal tersebut diduga dipengaruhi oleh kadar glukosa darah awal (*baseline*) pangan perlakuan yang sedikit lebih tinggi (87 mg/dL) dibandingkan pangan kontrol (81 mg/dL), sedangkan area di bawah nilai *baseline* tidak diperhitungkan dalam perhitungan iAUC. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pelepasan glukosa pada pangan perlakuan kemungkinan berlangsung lebih bertahap dibandingkan kontrol. Dengan demikian, pangan perlakuan diduga menghasilkan indeks glikemik yang cenderung lebih rendah dibandingkan kontrol.

5.1.3 Indeks Glikemik Olahan Jagung

Indeks glikemik merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan respons glukosa darah setelah konsumsi pangan sumber karbohidrat dibandingkan dengan pangan referensi (Augustin *et al.* 2015). Nilai indeks glikemik sering digunakan untuk mengevaluasi karakteristik fisiologis pangan sumber karbohidrat terhadap respons glukosa darah pascakonsumsi. Dalam penelitian ini, nilai indeks glikemik olahan jagung perlakuan dan kontrol disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Indeks glikemik olahan jagung (Kambose)

Parameter	Perlakuan	Kontrol	p-value
Indeks glikemik	56,4±5,3	57,5±5,9	0,844
Kategori indeks glikemik	Sedang	Sedang	

Data disajikan sebagai rata-rata ± SEM dan dianalisis menggunakan uji *paired t-test*. Perbedaan dinyatakan signifikan pada $p < 0,05$

Hasil analisis menunjukkan bahwa olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi memiliki nilai indeks glikemik yang cenderung lebih rendah (56,4) dibandingkan kontrol (57,5), meskipun perbedaannya tidak signifikan secara statistik ($p = 0,844$). Tidak signifikkannya perbedaan tersebut menunjukkan bahwa modifikasi nikstamalisasi pada penelitian ini belum menghasilkan perubahan respons glikemik yang cukup kuat secara statistik. Namun demikian, interpretasi hasil pada penelitian ini tidak hanya didasarkan pada signifikansi statistik, tetapi juga dapat mempertimbangkan arah perubahan nilai indeks glikemik olahan jagung. Meskipun kedua sampel masih berada pada kategori indeks glikemik sedang, perlakuan menunjukkan kecenderungan nilai indeks glikemik yang lebih rendah dibandingkan kontrol, yang mengindikasikan adanya kemungkinan perubahan karakteristik pangan akibat perbedaan proses pengolahan jagung yang diterapkan.

Temuan penelitian ini berbeda dengan penelitian Mariscal Moreno *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa tortilla hasil nikstamalisasi konvensional menggunakan kalsium hidroksida memiliki indeks glikemik dalam kategori tinggi. Perbedaan hasil tersebut kemungkinan berkaitan dengan perbedaan tahapan dan kondisi pengolahan selama proses nikstamalisasi. Berbeda dengan

penelitian nikstamalisasi yang umumnya menggunakan larutan kapur selama tahap pemasakan, penelitian ini melakukan proses pemasakan menggunakan air tanpa melibatkan larutan kapur. Perbedaan kondisi proses tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik respons glikemik olahan jagung dapat bervariasi tergantung pada pendekatan pengolahan nikstamalisasi yang digunakan.

Kecenderungan perubahan indeks glikemik pada penelitian ini menunjukkan adanya kemungkinan keterkaitan antara indeks glikemik dan perubahan karakteristik pangan selama proses pengolahan. Namun, nilai indeks glikemik suatu pangan tidak hanya ditentukan oleh satu faktor tunggal, melainkan dipengaruhi oleh berbagai perubahan yang terjadi selama proses pengolahan. Dengan demikian, interpretasi indeks glikemik pada olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi perlu dipahami secara lebih komprehensif melalui evaluasi sifat fisikokimia dan karakteristik gizi yang menyertainya.

5.2 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Karakteristik Fisikokimia Olahan Jagung

5.2.1 Derajat gelatinisasi

Derajat gelatinisasi merupakan indikator perubahan struktur pati akibat proses pemanasan dan hidrasi yang menyebabkan granula pati mengalami transisi dari struktur kristalin yang teratur menjadi lebih amorf. Pada proses pengolahan sereal, gelatinisasi sering dikaitkan dengan meningkatnya kemampuan pati menyerap air, mengembang, dan menjadi lebih mudah dihidrolisis oleh enzim pencernaan. Dalam proses nikstamalisasi, kombinasi pemanasan dan kondisi alkali diketahui dapat memicu gelatinisasi parsial pati jagung melalui kerusakan sebagian struktur kristalin granula (Rojas-Molina *et al.* 2007). Holm *et al.* (1988) juga menjelaskan bahwa peningkatan derajat gelatinisasi umumnya berkaitan dengan meningkatnya kerentanan pati terhadap hidrolisis enzimatis, sehingga berpotensi meningkatkan respons glikemik pangan.

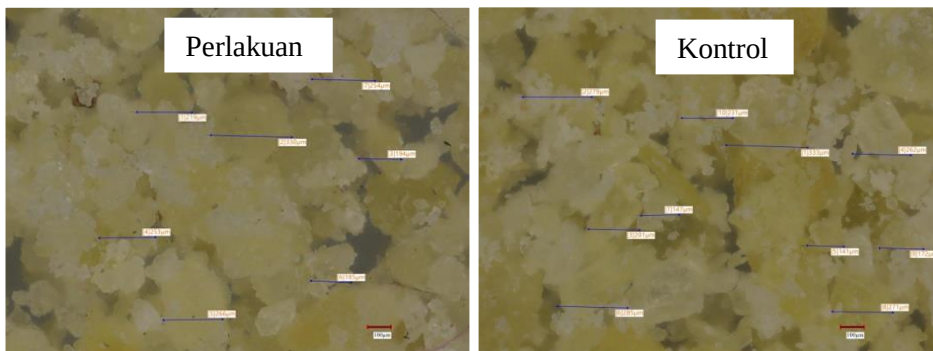
Hasil analisis menunjukkan bahwa derajat gelatinisasi pada olahan jagung perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol, yaitu 31,57% pada perlakuan dan 12,5% pada kontrol. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa perendaman dalam larutan kapur secara nontermal mampu mempercepat proses gelatinisasi selama pemasakan melalui peningkatan difusi air ke dalam jaringan endosperma setelah pelepasan sebagian perikarp. Temuan ini sejalan dengan penelitian Martinez-Ortiz *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa proses nikstamalisasi selama 90 menit dapat meningkatkan derajat gelatinisasi pati hingga 50,94%, serta Félix-Sámano *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa proses pemasakan selama nikstamalisasi menghasilkan gelatinisasi parsial sekitar 30%. Meskipun demikian, derajat gelatinisasi yang lebih tinggi pada perlakuan dalam penelitian ini justru diikuti kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah dibanding kontrol, sehingga menunjukkan bahwa hubungan antara gelatinisasi pati dan respons glikemik tidak selalu bersifat linear.

Kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah tersebut menunjukkan bahwa perubahan respons glikemik pada olahan jagung kemungkinan tidak hanya ditentukan oleh tingkat gelatinisasi, tetapi juga oleh reorganisasi matriks

pati selama proses alkalisasi. Sefa-Dedeh *et al.* (2004) menyatakan bahwa pengaruh kapur terhadap sifat gelatinisasi pati merupakan fenomena kompleks yang dipengaruhi oleh konsentrasi alkali dan interaksinya dengan granula pati. Keberadaan ion kalsium selama nikstamalisasi diduga memengaruhi hidrasi dan perilaku pengembangan granula, termasuk melalui perubahan kapasitas penyerapan air dan interaksi antar komponen pati. Pada kondisi tertentu, gelatinisasi yang meningkat dapat berlangsung bersamaan dengan terbentuknya struktur pati yang lebih kompak atau lebih sulit diakses enzim, sehingga peningkatan derajat gelatinisasi tidak selalu diikuti oleh peningkatan laju hidrolisis pati. Dengan demikian, derajat gelatinisasi yang lebih tinggi pada perlakuan kemungkinan merefleksikan perubahan struktur fisikokimia pati yang lebih kompleks dibanding sekadar peningkatan ketercernaan pati secara langsung.

5.2.2 Ukuran partikel

Ukuran partikel merupakan salah satu karakteristik fisik pangan yang dapat mengalami perubahan selama proses pengolahan dan berpengaruh terhadap pencernaan pati serta respons glikemik. Perubahan ukuran partikel dapat memengaruhi luas permukaan dan aksesibilitas enzim terhadap pati, sehingga berpotensi memodulasi laju hidrolisis pati dan indeks glikemik pangan (Eleazu 2016). Hasil analisis ukuran partikel olahan jagung pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100x.



Gambar 3 Ukuran partikel olahan jagung (Kambose) perlakuan dan kontrol

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa olahan jagung perlakuan dan kontrol memiliki rentang ukuran partikel yang relatif serupa. Olahan jagung perlakuan berada pada rentang 185–330 μm , sedangkan kontrol berada pada rentang 141–333 μm . Temuan tersebut mengindikasikan bahwa modifikasi nikstamalisasi nontermal belum menghasilkan diferensiasi karakteristik ukuran partikel yang jelas antara olahan jagung perlakuan dan kontrol. Hal ini karena pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini masih terbatas pada rentang ukuran partikel sehingga belum memberikan informasi mengenai pola distribusi ukuran partikel secara lebih rinci.

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa proses nikstamalisasi dapat memengaruhi karakteristik ukuran partikel produk jagung. Sunico *et al.* (2021) melaporkan bahwa tepung jagung hasil nikstamalisasi memiliki nilai persentase partikel lolos ayakan (*pass-through*) yang lebih

rendah dibandingkan tepung non nikstamalisasi. Temuan tersebut sejalan dengan laporan Gutiérrez-Cortez *et al.* (2022) bahwa perlakuan alkali dapat memengaruhi struktur permukaan pati melalui deposisi mineral kalsium pada granula pati sehingga membentuk lapisan partikel yang lebih tebal dan kasar. Sebaliknya, pada penelitian ini pengukuran yang dilakukan hanya menggambarkan rentang ukuran partikel sehingga tidak memungkinkan dilakukan interpretasi lebih lanjut mengenai karakteristik ukuran partikel sebagaimana dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

Ukuran partikel dapat berkaitan dengan respons glikemik karena perubahan luas permukaan memengaruhi akses enzim terhadap pati selama pencernaan (Devi *et al.* 2024). Namun, pada penelitian ini ukuran partikel antar perlakuan dan kontrol berada pada rentang yang relatif seragam sehingga kontribusinya terhadap indeks glikemik kemungkinan terbatas. Selain itu, interpretasi ukuran partikel terhadap indeks glikemik pada penelitian ini perlu dilakukan secara hati-hati karena proses pengukuran melibatkan penggilingan sampel yang tidak merepresentasikan kondisi konsumsi aktual.

5.3 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Karakteristik Gizi Olahan Jagung

5.3.1 Perubahan Karakteristik Gizi yang Kemungkinan Berkontribusi terhadap Indeks Glikemik

Karakteristik gizi pangan merupakan salah satu faktor yang berperan dalam menentukan respons fisiologis dan metabolik setelah konsumsi. Proses modifikasi nikstamalisasi melalui perendaman jagung dalam larutan kapur berpotensi memengaruhi komposisi zat gizi jagung, baik melalui pelarutan komponen tertentu, perubahan struktur matriks pangan, maupun interaksi mineral dengan komponen pati dan protein. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, pati, dan serat pangan. Hasil analisis proksimat, kadar pati, dan serat pangan olahan jagung pada perlakuan dan kontrol disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kandungan zat gizi, pati, dan serat olahan jagung (Kambose)

Kandungan zat gizi (%)	Perlakuan	Kontrol
Air (bb)	61,73±0,57 ^b	59,49±0,06 ^a
Abu (bk)	1,772±0,02 ^b	1,503±0,00 ^a
Lemak (bk)	6,09±0,04 ^a	5,82±0,19 ^a
Protein (bk)	10,54±0,17 ^a	10,87±0,47 ^a
Karbohidrat (bk)	81,60±0,15 ^a	81,80±0,28 ^a
Pati total (bk)	64,65	64,60
Serat pangan total (bk)	12,51	14,87
Serat larut (bk)	11,53	11,46
Serat tidak larut (bk)	0,98	3,41

Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD dan dianalisis menggunakan uji *independent t-test*. Huruf superskrip yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan ($p>0,05$), huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan ($p<0,05$)

a. Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam pangan karena berperan dalam menentukan stabilitas, tekstur, serta sifat fungsional bahan selama pengolahan dan penyimpanan. Pada proses modifikasi nikstamalisasi, perubahan kadar air tidak hanya dipengaruhi oleh pemanasan, tetapi juga oleh interaksi antara larutan alkali dan matriks penyusun jagung selama perendaman. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air pada perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol, yaitu masing-masing sebesar 61,73% dan 59,49%, yang mengindikasikan bahwa perendaman dalam larutan kapur secara nontermal dan proses perebusan setelahnya dapat memengaruhi kemampuan jaringan jagung dalam mengikat dan mempertahankan air.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Artavia *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa perlakuan kapur 5% secara signifikan meningkatkan kadar air pada jagung dibandingkan sampel tanpa perlakuan alkali. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Sunico *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa tepung jagung hasil nikstamalisasi memiliki kadar air lebih tinggi dibandingkan tepung jagung biasa. Selain itu, Ramos *et al.* (2022) menyatakan bahwa proses nikstamalisasi menghasilkan produk dengan kapasitas penyerapan air yang lebih tinggi akibat perubahan struktur pati selama perlakuan alkali dan pemanasan. Hasil tersebut memperkuat dugaan bahwa keberadaan larutan kapur berperan terhadap peningkatan hidrasi matriks jagung selama proses pengolahan.

Secara mekanistik, peningkatan kadar air pada perlakuan kemungkinan berkaitan dengan proses gelatinisasi pati dan interaksi ion kalsium dengan komponen penyusun jagung. Chandra *et al.* (2014) menjelaskan bahwa pemanasan menyebabkan granula pati mengalami pengembangan akibat penetrasi air dan pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil polisakarida, sehingga lebih banyak air terperangkap di dalam struktur granula. Pada kondisi alkali, ion Ca^{2+} diduga turut memodifikasi struktur pati melalui interaksi dengan gugus hidroksil dan karboksilat, yang kemudian memengaruhi kapasitas hidrasi bahan. Sefa-Dedeh *et al.* (2004) juga melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi kapur dapat meningkatkan daya serap air karena kapur mempercepat proses gelatinisasi, meskipun pada konsentrasi tertentu situs hidroksil pati dapat mengalami kejenuhan sehingga kemampuan pengikatan air kembali menurun.

Selain berkaitan dengan gelatinisasi, peningkatan kadar air pada perlakuan juga mengindikasikan adanya perubahan sifat higroskopis matriks jagung akibat keberadaan ion kalsium. Larutan kapur dilaporkan mampu menurunkan potensial osmotik eksternal sehingga mempercepat difusi air ke dalam jaringan jagung hingga tercapai keseimbangan hidrasi (Sefa-Dedeh *et al.* 2004). Kondisi tersebut memungkinkan air lebih mudah masuk ke dalam endosperma dan bertahan di dalam matriks pangan selama perebusan. Dengan demikian, peningkatan kadar air pada perlakuan tidak hanya mencerminkan efek hidrasi termal, tetapi juga perubahan afinitas matriks jagung terhadap air akibat perlakuan alkali.

b. Abu

Kadar abu merupakan parameter yang merepresentasikan total residu mineral anorganik yang tersisa setelah seluruh komponen organik bahan pangan mengalami pembakaran, sehingga sering digunakan sebagai indikator kandungan mineral total dalam pangan (Sundari *et al.* 2015). Pada proses modifikasi tahap nikstamalisasi, perubahan kadar abu dapat mencerminkan terjadinya kehilangan maupun penambahan mineral akibat interaksi antara perlakuan alkali, proses perendaman, dan pemanasan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar abu pada perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol, yaitu masing-masing sebesar 1,772% dan 1,503%, yang mengindikasikan bahwa perendaman dalam larutan kapur secara nontermal berkontribusi terhadap peningkatan retensi mineral pada olahan jagung.

Kadar abu yang lebih tinggi pada perlakuan dibandingkan kontrol menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi melalui perendaman dalam larutan kapur memungkinkan terjadinya absorpsi mineral ke dalam matriks jagung, terutama kalsium yang berasal dari Ca(OH)_2 . Temuan ini sejalan dengan laporan Sefa-Dedeh *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa penggunaan larutan kapur dalam proses nikstamalisasi meningkatkan kandungan mineral total akibat difusi ion kalsium selama pengolahan. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Sunico *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa perlakuan alkali pada jagung meningkatkan kadar abu sebagai konsekuensi dari peningkatan kandungan mineral anorganik dalam bahan pangan. Kesesuaian hasil penelitian ini dengan laporan terdahulu mengindikasikan bahwa meskipun tanpa pemanasan langsung dalam kondisi alkali, proses perendaman jagung dalam larutan kapur tetap memungkinkan difusi ion mineral ke dalam jaringan jagung.

Kadar abu yang lebih tinggi pada perlakuan diduga terjadi melalui difusi ion Ca^{2+} ke dalam jaringan endosperma selama proses perendaman. Ion kalsium kemudian berinteraksi dengan gugus karboksilat dan hidroksil pada pati maupun protein sehingga membentuk ikatan ionik yang relatif stabil di dalam matriks pangan. Interaksi tersebut memungkinkan sebagian mineral tetap tertahan selama proses perebusan berikutnya. Sebaliknya, pada kontrol tanpa perlakuan kapur, sebagian mineral alami jagung kemungkinan mengalami pelindian ke dalam media perebusan. Kimura dan Itokawa (1990) melaporkan bahwa proses pemasakan dapat menyebabkan kehilangan mineral hingga sekitar 60–70% dari bahan mentah, sedangkan Chukwuma *et al.* (2016) menunjukkan bahwa perebusan menurunkan kadar beberapa mineral makro seperti Na, K, P, Ca, dan Mg akibat sifatnya yang mudah larut dalam air panas. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa kadar abu pada kontrol relatif lebih rendah dibandingkan perlakuan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi melalui perendaman kapur nontermal tidak hanya memengaruhi karakteristik kimia jagung, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kandungan mineral total bahan pangan. Dengan demikian, peningkatan kadar abu pada perlakuan dapat dipandang sebagai indikator terjadinya difusi dan retensi mineral, khususnya kalsium, di dalam matriks jagung selama proses pengolahan. Temuan ini menunjukkan potensi teknik



perendaman alkali secara nontermal sebagai pendekatan fortifikasi mineral alami pada olahan pangan berbasis jagung.

c. Lemak

Hasil analisis menunjukkan lemak pada sampel perlakuan menunjukkan nilai 6,09%, sedikit lebih tinggi dibandingkan kontrol sebesar 5,82%. Meskipun perbedaannya tidak signifikan secara statistik, kecenderungan kandungan lemak yang lebih tinggi ini mengindikasikan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi yang diterapkan tidak menyebabkan kehilangan fraksi lemak yang berarti selama proses pengolahan. Lemak pada jagung umumnya banyak terdapat pada bagian lembaga dan sebagian matriks endosperma, sehingga perubahan kadarnya selama pengolahan sangat dipengaruhi oleh intensitas perlakuan kapur, pelepasan perikarp, serta kondisi pemanasan yang digunakan.

Hasil penelitian ini tidak sepenuhnya sejalan dengan laporan Sunico *et al.* (2021) dan Hassan *et al.* (2023), yang menunjukkan penurunan kadar lemak pada produk hasil nikstamalisasi. Penurunan tersebut umumnya dikaitkan dengan hilangnya bagian lembaga dan perikarp selama proses termo-alkali dan pencucian, serta terjadinya reaksi saponifikasi akibat penggunaan larutan kapur (Moreno *et al.* 2017; Escalante-Aburto *et al.* 2020). Namun demikian, hasil penelitian ini lebih mendekati temuan Vega Rojas *et al.* (2017) dan Ferdiansyah *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa proses nikstamalisasi tidak memberikan perubahan signifikan terhadap kadar lemak jagung. Perbedaan hasil antar penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar lemak sangat dipengaruhi oleh karakteristik proses yang digunakan, terutama intensitas perlakuan dan konsentrasi alkali.

Pada penelitian ini, tahap perendaman dilakukan dalam larutan kapur pada kondisi nontermal, sedangkan perebusan berikutnya dilakukan dalam media air tanpa alkali. Kondisi tersebut kemungkinan membatasi terjadinya hidrolisis dan saponifikasi lipid yang umumnya meningkat pada pemanasan alkali intensif. Selain itu, tidak adanya pemasakan langsung dalam larutan kapur diduga mengurangi pelepasan komponen lembaga dan fraksi lipid ke media pengolahan, sehingga sebagian besar lemak tetap tertahan dalam matriks jagung. Dengan demikian, kecenderungan kadar lemak yang relatif stabil pada perlakuan menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi yang diterapkan cenderung lebih ringan terhadap fraksi lipid dibandingkan nikstamalisasi konvensional berbasis termo-alkali.

Temuan ini juga didukung oleh Ferdiansyah *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa konsentrasi larutan kapur dan lama perendaman memengaruhi kadar lemak tepung jagung nikstamal. Pada perendaman 8 jam, peningkatan konsentrasi kalsium hidroksida diikuti oleh kecenderungan penurunan kadar lemak, sedangkan pada perendaman 16–24 jam perbedaannya relatif lebih kecil antarperlakuan. Pola tersebut mengindikasikan bahwa perubahan fraksi lipid kemungkinan lebih intens terjadi pada tahap awal perlakuan alkali, kemudian cenderung mencapai kondisi yang lebih stabil pada durasi perendaman yang lebih lama. Oleh karena itu, kestabilan kadar lemak pada penelitian ini kemungkinan berkaitan dengan kombinasi kondisi perendaman nontermal dan durasi

perlakuan yang belum cukup intensif untuk menyebabkan degradasi lipid secara signifikan.

d. Protein

Protein merupakan salah satu komponen utama jagung yang berperan dalam menentukan nilai gizi serta karakteristik fungsional pangan. Selama proses modifikasi tahap nikstamalisasi, fraksi protein dapat mengalami perubahan akibat interaksi dengan kondisi alkali, perendaman, dan pemanasan. Namun, arah perubahan kadar protein pada produk hasil pengolahan tidak selalu konsisten, karena sangat dipengaruhi oleh karakteristik proses yang diterapkan, termasuk konsentrasi alkali, suhu, lama perendaman, dan intensitas pencucian.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar protein pada sampel kontrol sebesar 10,87%, sedangkan pada perlakuan sebesar 10,54%. Meskipun nilai pada perlakuan cenderung lebih rendah dibandingkan kontrol, perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi melalui perendaman kapur nontermal belum menyebabkan perubahan besar terhadap retensi protein jagung, meskipun kemungkinan telah terjadi perubahan pada sebagian fraksi protein selama proses pengolahan.

Hasil penelitian ini menunjukkan pola yang berbeda dengan laporan Sefa-Dedeh *et al.* (2004), Sunico *et al.* (2021), dan Ramos *et al.* (2022) yang melaporkan peningkatan kadar protein pada produk hasil nikstamalisasi. Namun demikian, hasil penelitian ini juga tidak sepenuhnya bertentangan dengan Escalante-Aburto *et al.* (2020) dan De Leon *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa perlakuan alkali dapat menyebabkan sebagian fraksi protein mengalami kehilangan akibat peningkatan kelarutan selama proses pengolahan. Escalante-Aburto *et al.* (2020) menjelaskan bahwa fraksi albumin dan globulin dapat terlarut selama tahap pemasakan dan perendaman dalam medium alkali. Perbedaan pola hasil antar penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar protein pada proses nikstamalisasi bersifat kompleks dan sangat dipengaruhi oleh kombinasi kondisi perlakuan yang digunakan.

Kecenderungan penurunan kadar protein pada perlakuan kemungkinan berkaitan dengan perubahan sifat kelarutan protein selama proses alkali. Kondisi basa dapat menyebabkan sebagian struktur protein mengalami pelonggaran ikatan intermolekuler sehingga fraksi protein yang larut air lebih mudah berdifusi keluar dari jaringan jagung selama perendaman maupun perebusan. Akan tetapi, karena tahap alkali pada penelitian ini dilakukan dalam kondisi nontermal dan perebusan tidak berlangsung dalam media alkali, perubahan protein yang terjadi kemungkinan relatif terbatas. Kondisi tersebut dapat menjelaskan mengapa kadar protein pada perlakuan hanya menunjukkan kecenderungan penurunan tanpa perbedaan yang signifikan dibandingkan kontrol.

e. Karbohidrat

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan karbohidrat antar perlakuan relatif tidak berbeda, dengan nilai sebesar 81,80% pada kontrol

dan 81,60% pada perlakuan. Temuan ini mengindikasikan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi melalui perendaman kapur nontermal tidak memberikan pengaruh substansial terhadap total karbohidrat jagung. Stabilitas tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar fraksi karbohidrat masih mampu dipertahankan selama proses perendaman dan perebusan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan Escalante-Aburto *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa kandungan karbohidrat total pada produk hasil nikstamalisasi cenderung tetap stabil meskipun terjadi variasi antar proses dan varietas jagung. Variasi kandungan karbohidrat pada produk nikstamal umumnya lebih berkaitan dengan hilangnya sebagian komponen non karbohidrat, seperti protein dan lipid, dibandingkan degradasi total fraksi pati. Oleh karena itu, tidak adanya perbedaan nyata pada penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi yang diterapkan belum menyebabkan kehilangan komponen karbohidrat dalam jumlah besar.

Kondisi tersebut kemungkinan berkaitan dengan karakteristik perlakuan yang dilakukan tanpa pemasakan dalam media alkali. Pada nikstamalisasi konvensional, kondisi alkali bersuhu tinggi dapat memicu hidrolisis dan solubilisasi komponen perikarp, serta kehilangan sebagian pati sehingga mempengaruhi komposisi karbohidrat produk (Escalante-Aburto *et al.* 2020). Namun, pada penelitian ini, tahap alkali dilakukan dalam kondisi nontermal sehingga reaksi hidrolisis dan degradasi pati kemungkinan berlangsung lebih terbatas. Akibatnya, struktur utama karbohidrat jagung relatif tetap terjaga meskipun terjadi perubahan pada beberapa karakteristik fisikokimia lainnya.

Meskipun kadar karbohidrat total relatif stabil, kondisi tersebut tidak secara langsung menunjukkan bahwa sifat fisiologis karbohidrat juga tetap sama. Perubahan struktur pati akibat interaksi alkali, gelatinisasi parsial, maupun keberadaan ion kalsium tetap berpotensi memengaruhi aksesibilitas enzim terhadap pati tanpa harus mengubah kadar karbohidrat total secara signifikan. Dengan demikian, kestabilan kadar karbohidrat pada penelitian ini lebih mencerminkan retensi komponen karbohidrat secara kuantitatif, sedangkan perubahan sifat fungsional dan respons glikemiknya kemungkinan lebih dipengaruhi oleh modifikasi struktur pati selama proses pengolahan.

f. Pati

Pati merupakan komponen utama jagung yang berperan penting dalam menentukan karakteristik fisikokimia, daya cerna, dan respons glikemik produk pangan. Selama proses nikstamalisasi, perlakuan alkali dan pemanasan dapat memodifikasi struktur pati melalui gelatinisasi, fragmentasi rantai, pembentukan kompleks, maupun interaksi dengan ion mineral seperti kalsium. Perubahan tersebut dapat memengaruhi proporsi pati yang larut maupun tidak larut, serta menentukan aksesibilitas enzim terhadap granula pati selama proses pencernaan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan pati total tidak mengalami penurunan setelah proses pengolahan. Perlakuan memiliki kadar pati 64,65, sedangkan kontrol 64,60. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses perendaman kapur yang diikuti perebusan dengan air tidak

menyebabkan hilangnya fraksi pati. Temuan ini sejalan dengan laporan Sunico *et al.* (2021) yang menunjukkan bahwa proses nikstamalisasi dapat mempertahankan bahkan meningkatkan retensi pati total pada produk tepung jagung dibandingkan perlakuan tanpa alkali.

Kadar pati yang relatif serupa selama modifikasi nikstamalisasi kemungkinan dipengaruhi oleh pembentukan struktur pati yang relatif lebih stabil melalui interaksi dengan ion kalsium. Escamilla-Urbina *et al.* (2025) melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi kapur dapat memicu fragmentasi rantai pati akibat aksi gugus hidroksida, sehingga menghasilkan rantai pati pendek yang lebih mudah dihidrolisis oleh enzim amilolitik. Namun pada saat yang sama, proses pemasakan dan keberadaan ion kalsium juga dapat memicu pembentukan ikatan silang antarrantai pati dan menghasilkan struktur pati terhidrasi yang lebih teratur. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian granula pati menjadi lebih stabil dan lebih sulit diakses oleh enzim.

Perubahan struktur pati tersebut berpotensi berkaitan dengan kecenderungan respons glikemik pada produk hasil perlakuan. Fragmentasi rantai pati akibat perlakuan alkali secara teoritis dapat meningkatkan fraksi pati yang mudah dicerna (*rapidly digestible starch*/RDS), sehingga mempercepat pelepasan glukosa. Namun, pembentukan ikatan silang yang dimediasi kalsium serta terbentuknya struktur pati yang lebih terorganisasi juga dapat meningkatkan fraksi pati yang lebih resisten terhadap hidrolisis enzimatis (Escamilla-Urbina *et al.* 2025). Dengan demikian, respons glikemik pada olahan jagung hasil nikstamalisasi kemungkinan tidak hanya ditentukan oleh jumlah pati total, tetapi juga oleh perubahan organisasi struktural pati selama pengolahan. Meskipun interaksi spesifik antara kalsium dan struktur pati tidak dianalisis secara langsung pada penelitian ini, kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah pada perlakuan diduga berkaitan dengan terbentuknya matriks pati yang lebih stabil dan kurang mudah dihidrolisis selama proses pencernaan.

g. Serat Pangan

Kandungan total serat pangan pada sampel menunjukkan perbedaan antarperlakuan. Perlakuan menghasilkan kadar total serat pangan sebesar 12,51%, lebih rendah dibandingkan kontrol sebesar 14,87%. Perbedaan ini terutama berasal dari fraksi serat pangan tidak larut yang lebih rendah pada perlakuan (0,98%) dibandingkan kontrol (3,41%). Sebaliknya, fraksi serat pangan larut relatif stabil dengan nilai 11,53% pada perlakuan dan 11,46% pada kontrol, menunjukkan bahwa sebagian besar komponen serat larut tetap bertahan meskipun mengalami proses modifikasi nikstamalisasi.

Fraksi serat tidak larut yang cenderung lebih rendah pada perlakuan mengindikasikan adanya degradasi struktural pada jaringan perikarp dan dinding sel jagung, yang merupakan sumber utama serat tidak larut. Fenomena ini konsisten dengan laporan sebelumnya yang menunjukkan bahwa proses nikstamalisasi dapat menyebabkan kehilangan serat mencapai 70–90% akibat terlepasnya perikarp selama tahapan alkalisasi dan pencucian (Sánchez-Madrigal *et al.* 2015).

Selain itu, Sunico *et al.* (2021) melaporkan bahwa pada tepung jagung hasil nikstamalisasi, total serat pangan tidak mengalami perubahan signifikan, namun terjadi peningkatan serat larut hingga 137,7% dan penurunan serat tidak larut sebesar 79,7%. Hal ini mendukung indikasi bahwa perlakuan alkali selektif terhadap fraksi serat, dengan fraksi larut lebih stabil terhadap degradasi dibanding fraksi tidak larut.

Namun demikian, hasil penelitian ini tidak sejalan dengan temuan Sefa-Dedeh *et al.* (2004), Agbor *et al.* (2011), dan Figueroa *et al.* (2013), yang melaporkan peningkatan kadar serat pangan pada produk nikstamalisasi. Perbedaan tersebut dapat dikaitkan dengan variasi metode nikstamalisasi yang digunakan, terutama perbedaan rasio kapur, lama perendaman, serta intensitas pencucian, yang berpengaruh terhadap retensi polisakarida nonpati pada perikarp. Dengan demikian, hasil ini memperlihatkan bahwa kondisi proses sangat menentukan arah perubahan fraksi serat pangan pada produk jagung yang mengalami perlakuan alkali.

5.3.2 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Karakteristik Gizi Spesifik

Karakteristik gizi spesifik pada penelitian ini difokuskan pada kadar kalsium dan profil asam amino karena kedua parameter tersebut merepresentasikan perubahan komposisi mineral dan protein akibat modifikasi tahap nikstamalisasi. Perlakuan alkali menggunakan kalsium hidroksida memungkinkan terjadinya difusi ion kalsium ke dalam matriks jagung serta memengaruhi stabilitas fraksi protein maupun komposisi asam amino selama proses pengolahan. Hasil analisis kadar kalsium dan profil asam amino olahan jagung perlakuan dan kontrol disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kadar kalsium dan profil asam amino olahan jagung (Kambose)

Parameter (mg/100 g, bk)	Perlakuan	Kontrol	Rasio relatif
Kalsium	17,97±0,34	4,91±0,76	3,66
Asam amino esensial			
Histidin	522,53	567,69	0,92
Isoleusin	444,15	394,92	1,12
Leusin	1750,49	1456,25	1,20
Lisin	365,77	271,50	1,35
Metionin	104,51	98,73	1,06
Fenilalanin	627,04	543,01	1,15
Treonin	418,03	394,92	1,06
Triptofan	26,13	24,68	1,06
Valin	444,15	394,92	1,12
Asam amino non-esensial			
Asam aspartat	679,29	641,74	1,06
Serin	627,04	567,69	1,10
Glutamat	2691,05	2369,49	1,14
Prolin	1071,20	962,61	1,11
Glisin	339,65	370,23	0,92
Alanin	992,82	888,56	1,12
Tirosin*	287,39	271,50	1,06

Tabel 4 Kadar kalsium dan profil asam amino olahan jagung (Kambose)
(lanjutan)

Parameter (mg/100 g, bk)	Perlakuan	Kontrol	Rasio relatif
Sistein*	130,63	123,41	1,06
Arginin**	209,01	1135,38	0,18

Rasio relatif dihitung sebagai perbandingan nilai parameter pada perlakuan terhadap kontrol (Perlakuan/Kontrol) *Tirosin dan sistein merupakan asam amino kondisional,

**Arginin tidak tergolong asam amino esensial bagi orang dewasa sehat

a. Kalsium

Kalsium merupakan mineral yang tidak hanya berperan sebagai komponen gizi, tetapi juga dapat memengaruhi karakteristik fisikokimia pangan melalui interaksinya dengan matriks pati dan protein selama proses pengolahan. Pada proses nikstamalisasi, ion kalsium dari larutan kapur diketahui dapat berdifusi ke dalam jaringan endosperma dan berikatan dengan gugus hidroksil maupun karboksilat pada biomakromolekul jagung, sehingga memodifikasi struktur internal bahan pangan. Interaksi tersebut dilaporkan berkaitan dengan perubahan sifat gelatinisasi, viskositas, stabilitas struktur pati, serta karakteristik fungsional produk akhir (Zakiyah *et al.* 2022). Oleh karena itu, peningkatan kadar kalsium pada olahan jagung tidak hanya mencerminkan perubahan komposisi mineral, tetapi juga berpotensi berkaitan dengan perubahan perilaku pati selama proses pencernaan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar kalsium pada jagung perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol, yaitu masing-masing 17,97 mg/100 g dan 4,91 mg/100 g, dengan kadar kalsium perlakuan sekitar 3,66 kali lebih tinggi dibandingkan kontrol setelah perendaman dalam larutan kapur. Perbedaan kadar kalsium tersebut menunjukkan bahwa perendaman jagung dalam larutan kapur secara nontermal tetap memungkinkan difusi ion kalsium ke dalam matriks jagung meskipun tanpa tahap pemasakan alkali seperti pada nikstamalisasi konvensional. Temuan ini konsisten dengan laporan Kamau *et al.* (2020) dan Sunico *et al.* (2021) yang menunjukkan bahwa perlakuan kapur secara signifikan meningkatkan kandungan kalsium pada jagung dan produk turunannya dibandingkan tanpa perlakuan alkali. Perubahan kadar kalsium ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan kenaikan kadar kalsium pada nikstamalisasi konvensional sebesar 3-4 kali lipat (Trejo-Gonzalez *et al.* 1982; Kamau *et al.* 2020). Gallego-Castillo *et al.* (2021) bahkan melaporkan peningkatan kadar kalsium 12-72 kali pada tortilla hasil nikstamalisasi. Dengan demikian, kadar kalsium yang lebih tinggi pada perlakuan kemungkinan dipengaruhi oleh konsentrasi kapur dan durasi perendaman selama modifikasi nikstamalisasi.

Kadar kalsium yang lebih tinggi pada perlakuan kemungkinan berkaitan dengan terbentuknya interaksi ionik antara kalsium dan komponen penyusun matriks jagung, terutama pati dan protein. Ion kalsium diduga berikatan dengan gugus hidroksil pada pati maupun gugus karboksilat pada protein sehingga membentuk struktur yang lebih stabil di dalam matriks endosperma. Interpretasi ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang

menunjukkan bahwa perlakuan alkali selama nikstamalisasi dapat meningkatkan interaksi ion kalsium dengan matriks pati dan memengaruhi pembentukan kompleks amilosa-lipid yang ditandai dengan munculnya pola kristal tipe V (Santiago-Ramos *et al.* 2018). Interaksi tersebut diduga mengarah pada terbentuknya struktur pati yang lebih stabil, sehingga berpotensi lebih resisten terhadap hidrolisis enzimatis.

Perubahan matriks pati akibat keberadaan kalsium tersebut berpotensi menjelaskan kecenderungan nilai indeks glikemik yang lebih rendah pada perlakuan dibandingkan kontrol. Interaksi antara ion kalsium dan pati dilaporkan dapat meningkatkan stabilitas struktur kristalin serta memodifikasi sifat gelatinisasi dan viskositas pati, sehingga aksesibilitas enzim terhadap substrat pati menjadi lebih terbatas (Zakiyah *et al.* 2022). Kondisi ini memungkinkan laju hidrolisis pati berlangsung lebih lambat dan pelepasan glukosa terjadi secara lebih gradual selama pencernaan. Namun demikian, pada penelitian ini interaksi spesifik antara kalsium dan struktur pati tidak dianalisis secara langsung, sehingga keterkaitan antara kadar kalsium yang lebih tinggi dan kecenderungan penurunan indeks glikemik masih bersifat inferensial berdasarkan dukungan literatur nikstamalisasi konvensional.

b. Profil Asam Amino

Profil asam amino merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mengevaluasi perubahan karakteristik protein akibat proses pengolahan, karena perlakuan panas dan alkali dapat memengaruhi stabilitas, kelarutan, maupun distribusi fraksi protein penyusun endosperma. Dalam proses nikstamalisasi, perubahan komposisi asam amino tidak selalu mencerminkan degradasi absolut, tetapi juga dapat berkaitan dengan hilangnya fraksi protein tertentu selama pemasakan dan perendaman, terutama protein yang lebih mudah larut dalam nejayote. Robles-Ramírez *et al.* (2012) menjelaskan bahwa nikstamalisasi bersifat selektif terhadap protein jagung karena fraksi zein yang miskin lisin dan triptofan mengalami penurunan kelarutan lebih besar dibanding glutelin yang memiliki kualitas gizi lebih baik. Akibatnya, beberapa asam amino esensial dapat meningkat secara relatif setelah pengolahan. Selain itu, perubahan pH dan suhu selama proses alkali juga dapat memicu denaturasi protein, perubahan status protonasi residu asam amino, hingga reaksi kimia spesifik yang memengaruhi ketersediaan biologis protein pangan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar asam amino pada jagung relatif stabil terhadap perlakuan modifikasi nikstamalisasi. Namun demikian, perlakuan kapur secara nontermal dengan konsentrasi 5% (b/v) dapat menghasilkan perubahan selektif pada beberapa asam amino tertentu. Kondisi ini sejalan dengan laporan Gallego-Castillo *et al.* (2021) yang menunjukkan adanya perbedaan retensi asam amino akibat proses nikstamalisasi, serta Félix-Sámano *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa perubahan komposisi asam amino dapat dipengaruhi oleh hilangnya sebagian fraksi larut selama perendaman dan perlakuan panas. Dengan demikian, perubahan profil asam amino pada penelitian ini kemungkinan tidak hanya mencerminkan degradasi kimia, tetapi juga redistribusi relatif

fraksi protein akibat perubahan kelarutan dan stabilitas protein selama perlakuan alkali.

Rasio relatif lisin yang lebih tinggi pada perlakuan menunjukkan bahwa lisin memiliki stabilitas yang relatif lebih baik dibanding beberapa asam amino lain pada kondisi pengolahan yang diterapkan. Secara teoritis, gugus ϵ -amino lisin pada kondisi basa dapat mengalami deprotonasi sehingga menjadi lebih reaktif terhadap gugus karbonil dan berpotensi terlibat dalam reaksi Maillard. Namun, kondisi perendaman suhu rendah (28–30°C) serta aktivitas air tinggi selama perebusan kemungkinan membatasi pembentukan produk Maillard secara signifikan (El Hosry *et al.* 2025). Temuan ini juga sejalan dengan laporan Robles-Ramírez *et al.* (2012) yang menunjukkan bahwa kandungan lisin pada tepung jagung QPM tidak berbeda nyata setelah nikstamalisasi. Selain itu, rasio relatif lisin yang lebih tinggi kemungkinan berkaitan dengan redistribusi fraksi protein selama perlakuan alkali, terutama karena fraksi protein yang relatif kaya lisin tetap lebih stabil dibandingkan fraksi protein lain selama proses pengolahan alkali secara nontermal.

Sebaliknya, arginin menunjukkan kadar yang jauh lebih rendah dibanding asam amino lain, dari 1135,38 mg/100 g pada kontrol menjadi 209,01 mg/100 g pada perlakuan. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa residu arginin lebih rentan terhadap perubahan kimia selama kondisi basa dibandingkan asam amino lainnya. Pada pH tinggi, gugus guanidinium arginin dapat mengalami perubahan status protonasi yang meningkatkan reaktivitas residu terhadap reaksi oksidatif maupun pembentukan karbonil protein (Estévez *et al.* 2022; El Hosry *et al.* 2025). Selain itu, pelonggaran struktur protein selama perlakuan alkali kemungkinan meningkatkan paparan residu arginin terhadap lingkungan reaktif sehingga mempercepat degradasi selektifnya (Hadinoto *et al.* 2024). Temuan ini konsisten dengan laporan Artavia *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa perlakuan kapur pada jagung dapat menurunkan kandungan arginin hingga 55,7%. Dengan demikian, perubahan arginin dalam penelitian ini kemungkinan merefleksikan kombinasi antara perubahan struktur protein, reaksi oksidatif, dan ketidakstabilan residu basa selama pengolahan alkali.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh nikstamalisasi terhadap profil asam amino bersifat kompleks dan tidak seragam antar asam amino. Beberapa asam amino seperti lisin relatif stabil bahkan lebih tinggi setelah mengalami perlakuan modifikasi nikstamalisasi, sedangkan kadar arginin jauh lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan sensitivitas arginin terhadap kondisi basa. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kualitas protein selama nikstamalisasi tidak hanya ditentukan oleh kehilangan nutrisi secara langsung, tetapi juga oleh reorganisasi fraksi protein, perubahan kelarutan, dan reaksi kimia spesifik selama pengolahan. Dalam konteks gizi, stabilitas lisin lebih penting dibandingkan arginin karena lisin merupakan asam amino pembatas utama pada jagung (WHO 2007), sedangkan arginin bukan merupakan asam amino esensial bagi orang dewasa sehingga perubahan kandungannya relatif tidak memengaruhi kualitas biologis protein jagung.



Selain profil asam amino, perubahan komposisi asam amino esensial juga dievaluasi melalui skor asam amino, yaitu perbandingan kandungan masing-masing asam amino esensial terhadap pola referensi asam amino FAO/WHO. Pola referensi asam amino yang digunakan dalam penelitian ini adalah anak usia ≥ 3 tahun hingga dewasa (FAO 2013). Skor asam amino digunakan untuk mengevaluasi kecukupan relatif setiap asam amino esensial sekaligus mengidentifikasi asam amino pembatas. Dengan demikian, parameter ini tidak hanya menunjukkan perubahan kandungan asam amino, tetapi juga menggambarkan sejauh mana komposisi asam amino esensial protein jagung mendekati pola kebutuhan asam amino rujukan. Hasil perhitungan skor asam amino olahan jagung perlakuan dan kontrol disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kandungan asam amino esensial dan skor asam amino olahan jagung (Kambose) perlakuan dan kontrol

Asam amino	Pola referensi*	Perlakuan	Kontrol	Skor perlakuan	Skor kontrol
Treonin	25	39,6	36,3	159	145
Valin	40	42,1	36,3	105	91
Met + Sys	23	22,3	20,5	97	89
Isoleusin	30	42,1	36,3	140	121
Leusin	61	166,0	133,9	272	220
Phe + Tyr	41	86,8	74,9	212	183
Histidin	16	49,6	52,2	310	326
Lisin	48	34,7	25,0	72	52
Triptofan	6,6	2,48	2,27	38	34

Met + Sys = metionin dan sistein; Phe + Tyr = fenilalanin dan tirosin, *Pola referensi berdasarkan FAO/WHO (2013) untuk anak ≥ 3 tahun hingga dewasa (mg/g protein)

Hasil perhitungan skor asam amino menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi menghasilkan skor yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Menariknya, skor lisin pada perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol sehingga lebih mendekati pola referensi FAO/WHO. Temuan ini penting karena lisin umumnya merupakan asam amino pembatas pertama jagung (Adhikari *et al.* 2022; Muleya *et al.* 2023), sehingga perubahan skor lisin memberikan kontribusi terhadap perubahan pola kecukupan relatif asam amino esensial pada protein jagung. Skor lisin yang lebih tinggi kemungkinan berkaitan dengan redistribusi fraksi protein selama perendaman alkali non-termal yang diikuti proses pemasakan sehingga proporsi relatif lisin meningkat per g protein dibandingkan asam amino esensial lainnya.

Meskipun demikian, triptofan merupakan asam amino pembatas pertama pada perlakuan karena memiliki skor terendah di antara seluruh asam amino esensial, meskipun skornya sedikit lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang melaporkan penurunan triptofan akibat perlakuan termo-alkali (Gallego-Castillo *et al.* 2021; Joshi *et al.* 2025). Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh penggunaan perlakuan alkali yang dilakukan secara non-

termal, sehingga degradasi triptofan selama proses pengolahan dapat diminimalkan. Meski demikian, temuan ini menjadi sejalan dengan laporan sebelumnya bahwa setelah perlakuan alkali, triptofan lebih sering menjadi asam amino pembatas pertama sebagai konsekuensi meningkatnya ketersediaan relatif lisin (Gallego-Castillo *et al.* 2021; Garrido-Balam *et al.* 2023).

Perubahan skor asam amino menunjukkan bahwa modifikasi tahap nikstamalisasi tidak hanya memengaruhi kandungan masing-masing asam amino esensial, tetapi juga mengubah proporsinya terhadap pola referensi asam amino FAO/WHO. Dengan demikian, hasil yang diperoleh tidak hanya menggambarkan perubahan profil asam amino, tetapi juga menunjukkan perubahan tingkat ketersediaan setiap asam amino esensial dalam protein jagung yang tercermin dari perbaikan skor asam amino. Oleh karena itu, skor asam amino memberikan perspektif yang melengkapi analisis profil asam amino dalam mengevaluasi pengaruh modifikasi tahap nikstamalisasi terhadap karakteristik protein jagung.

5.4 Pengaruh Modifikasi Nikstamalisasi terhadap Penerimaan Sensori Olahan Jagung

Uji hedonik merupakan metode evaluasi sensori yang memanfaatkan panca indera untuk menilai tingkat penerimaan konsumen terhadap atribut sensori pangan, seperti aroma, rasa, warna, tekstur, dan penerimaan keseluruhan (Nafsiyah *et al.* 2022). Dalam pengolahan jagung, proses nikstamalisasi diketahui tidak hanya memengaruhi karakteristik gizi dan sifat fisikokimia, tetapi juga dapat menyebabkan perubahan pada atribut sensori produk. Perubahan tersebut terjadi akibat interaksi antara komponen pangan selama proses pengolahan, sehingga dapat memodifikasi karakteristik olahan jagung yang dihasilkan (Febrianto *et al.* 2014).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa proses nikstamalisasi dapat menghasilkan tingkat penerimaan sensori yang berbeda pada setiap atribut pangan. Perlakuan alkali, baik pemanasan dan perendaman diketahui dapat memodifikasi warna, rasa, aroma, maupun tekstur produk jagung, namun perubahan tersebut tidak selalu memberikan respons kesukaan yang seragam pada panelis (Widyanto 2016; Vázquez-Carrillo *et al.* 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan penerimaan pada satu atribut sensori dapat terjadi bersamaan dengan penurunan penerimaan pada atribut lainnya, bergantung pada karakteristik sensori yang terbentuk selama proses pengolahan.

Penilaian organoleptik dilakukan menggunakan 30 panelis semi terlatih yang telah memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi penelitian. Jumlah tersebut masih berada dalam rentang panelis yang direkomendasikan untuk uji hedonik sehingga dinilai cukup merepresentasikan tingkat penerimaan konsumen terhadap produk pangan (BSN 2006; Gunawan *et al.* 2024). Evaluasi sensori dilakukan pada atribut warna, aroma, rasa, tekstur, dan kesukaan keseluruhan untuk memperoleh gambaran penerimaan panelis terhadap perubahan karakteristik olahan jagung akibat perlakuan modifikasi nikstamalisasi. Hasil penilaian setiap atribut kemudian dinyatakan dalam nilai rata-rata untuk melihat kecenderungan respons kesukaan panelis terhadap perlakuan maupun kontrol. Hasil uji hedonik olahan jagung (Kambose) disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil uji organoleptik olahan jagung (Kambose)

Parameter	Perlakuan	Kontrol
Warna	5,8 ^b	6,8 ^a
Tekstur	5,3 ^b	4,6 ^a
Aroma	6,3 ^a	6,5 ^a
Rasa	5,5 ^a	4,9 ^a
Kesukaan	5,7 ^a	5,5 ^a
Keseluruhan		

Berdasarkan hasil uji Wilcoxon *signed-rank test* dengan, nilai rata-rata dalam kolom dengan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$) sedangkan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$)

5.4.1 Warna

Warna merupakan atribut visual yang sering berperan sebagai indikator awal dalam evaluasi dan penerimaan produk pangan sebelum dikonsumsi (Wadhera dan Capaldi-Phillips 2014). Pada modifikasi nikstamalisasi, larutan kapur dapat berinteraksi dengan pigmen alami pada butiran jagung sehingga berpotensi memodifikasi intensitas maupun karakter warna olahan jagung. Oleh karena itu, perbedaan proses pengolahan berpotensi menghasilkan karakter warna yang berbeda, baik berupa perubahan kecerahan, tingkat keputihan, maupun kesesuaian warna produk dengan karakter visual jagung yang umum dikenal konsumen.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kesukaan warna berbeda signifikan antara sampel perlakuan dan kontrol. Panelis cenderung lebih menyukai warna kontrol yang lebih mendekati warna alami jagung dibandingkan sampel perlakuan yang tampak lebih pucat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penerimaan visual konsumen terhadap produk jagung masih dipengaruhi oleh ekspektasi terhadap karakter warna asli bahan pangan. Warna pucat pada sampel perlakuan diduga menurunkan daya tarik visual karena dianggap kurang merepresentasikan warna jagung yang familiar bagi panelis. Tingkat penerimaan warna olahan jagung perlakuan berada pada kategori biasa cenderung agak disukai, sedangkan sampel kontrol termasuk dalam kategori agak disukai cenderung disukai. Dengan demikian, penerimaan warna olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi kemungkinan dipengaruhi oleh kesesuaian warna produk dengan ekspektasi visual panelis terhadap warna alami jagung.

Proses modifikasi nikstamalisasi diduga memengaruhi warna jagung melalui pelepasan lapisan perikarp serta perubahan stabilitas pigmen selama perlakuan perendaman kapur dan pemanasan. Kalsium hidroksida diketahui dapat melarutkan sebagian hemiselulosa pada dinding sel kulit biji jagung sehingga struktur perikarp menjadi lebih lemah dan mudah terlepas selama proses pemasakan dan pencucian (Santiago-Ramos *et al.* 2018). Selain itu, kondisi alkali selama nikstamalisasi juga dilaporkan dapat memengaruhi stabilitas dan struktur kimia pigmen flavonoid yang sensitif terhadap perubahan pH, sehingga menghasilkan karakter visual produk yang berbeda dibandingkan tanpa perlakuan kapur (Vázquez-Carrillo *et al.* 2025). Sejalan

dengan temuan tersebut, perlakuan pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan penurunan intensitas warna khas jagung dibandingkan kontrol. Oleh karena itu, perubahan karakter visual yang terjadi pada olahan jagung modifikasi nikstamalisasi dapat menurunkan penerimaan sensori, terutama ketika karakter warna yang terbentuk mulai bergeser dari ekspektasi visual panelis.

5.4.2 Tekstur

Tekstur merupakan atribut sensori yang merefleksikan struktur dan komposisi internal pangan saat dikonsumsi (Berčík *et al.* 2025). Pada olahan pangan, karakter tekstur berkaitan dengan tingkat kekerasan, kohesivitas, kepadatan dan kelembapan yang terbentuk dari interaksi antara pati, protein, air, dan komponen penyusun dinding sel (Gunawan *et al.* 2024). Dalam proses nikstamalisasi, perlakuan alkali dan pemanasan dapat memengaruhi hidrasi granula pati, pelemahan matriks endosperma, serta reorganisasi struktur internal biji jagung, sehingga menghasilkan sifat reologi dan karakter tekstur produk yang berbeda. Perubahan tekstur pada olahan jagung tidak hanya mencerminkan perubahan mekanik produk, tetapi juga menunjukkan adanya modifikasi sifat fisikokimia matriks pangan selama proses pengolahan. Perbedaan kondisi proses, seperti konsentrasi kapur, lama pemasakan, dan karakteristik bahan baku jagung, berpotensi menghasilkan tekstur yang berbeda pada produk akhir.

Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada tingkat kesukaan tekstur antara perlakuan dan kontrol. Panelis cenderung menilai olahan jagung perlakuan memiliki tekstur yang sedikit lebih lunak, meski keduanya dinilai masih agak keras. Perbedaan tersebut tercermin dari tingkat penerimaan panelis, dimana perlakuan berada pada kategori biasa, sedangkan kontrol cenderung mendekati kategori agak tidak disukai. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses modifikasi nikstamalisasi memengaruhi karakteristik tekstur olahan jagung, khususnya kekerasan dan kenyamanan konsumsi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan intensitas pemanasan maupun konsentrasi kapur dapat menghasilkan tekstur tortilla yang lebih lunak akibat meningkatnya hidrasi dan pelemahan struktur jaringan biji jagung (Palacios-Pola *et al.* 2021). Fenomena ini menunjukkan bahwa perubahan tekstur akibat perlakuan kapur secara nontermal berkontribusi terhadap peningkatan preferensi sensori panelis. Meskipun demikian, karakter tekstur olahan jagung pada penelitian ini masih berpotensi dioptimalkan untuk memperoleh tingkat penerimaan sensori yang lebih baik.

5.4.3 Aroma

Aroma merupakan atribut sensori yang dipengaruhi oleh senyawa volatil yang terbentuk selama proses pengolahan dan produk dikonsumsi (Tarwendah 2017). Pada olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi, aroma tidak hanya merefleksikan karakter khas jagung, tetapi juga mencerminkan perubahan kimia yang terjadi pada matriks pangan selama perlakuan kapur dan proses pemanasan setelahnya. Oleh karena itu, perbedaan pada proses pengolahan dapat menghasilkan profil aroma yang berbeda, baik pada intensitas aroma jagung maupun pada munculnya nuansa aroma yang khas akibat perendaman

kapur.

Pada pengolahan jagung melalui modifikasi nikstamalisasi, atribut aroma tidak hanya mencerminkan karakteristik khas jagung, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi perlakuan alkali, pemanasan, dan perubahan matriks pangan selama proses pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap tingkat kesukaan aroma dibandingkan kontrol, meskipun panelis cenderung lebih menyukai aroma khas jagung pada sampel kontrol. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan kapur selama proses modifikasi nikstamalisasi dapat memengaruhi profil aroma yang terbentuk tanpa secara langsung menurunkan penerimaan panelis terhadap produk. Skor kesukaan aroma pada kedua sampel yang tetap berada pada kategori agak suka hingga cenderung disukai semakin memperkuat bahwa aroma olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi masih dapat diterima oleh panelis.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Velasco Hernandez (2025), nikstamalisasi dapat mempertahankan sebagian aroma khas jagung, namun juga memicu terbentuknya senyawa volatil baru akibat interaksi alkali dan pemanasan sehingga menghasilkan karakter aroma yang sedikit berbeda dibandingkan jagung tanpa perlakuan nikstamalisasi. Menurut Ramadhan *et al.* (2025), peningkatan konsentrasi kapur dapat memengaruhi pelepasan senyawa volatil selama proses pemanasan. Perubahan pada karakter aroma tersebut pada beberapa penelitian dilaporkan mampu meningkatkan preferensi organoleptik produk jagung karena menghasilkan karakter aroma yang lebih kompleks (Ramadhan *et al.* 2025; Vázquez-Carrillo *et al.* 2025). Namun, pada penelitian ini perlakuan kapur cenderung menurunkan dominansi aroma alami jagung meskipun belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan tingkat kesukaan aroma secara signifikan dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa kompleksitas aroma yang terbentuk selama proses modifikasi nikstamalisasi tidak secara otomatis meningkatkan penerimaan sensori, terutama ketika perubahan karakter aroma bergeser dari profil aroma jagung yang telah familiar bagi panelis.

5.4.4 Rasa

Rasa merupakan atribut sensori yang berkaitan dengan persepsi indera pengecap terhadap senyawa yang terdapat dalam pangan (Gunawan *et al.* 2024). Pada olahan jagung, karakter rasa dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan, proses pemasakan, serta interaksi antar komponen pangan selama pengolahan. Dalam modifikasi nikstamalisasi, perlakuan alkali dapat memengaruhi pelepasan senyawa cita rasa dan mengubah karakter rasa khas jagung melalui perubahan struktur matriks pangan. Selain itu, proses pemanasan selama pengolahan juga dapat memicu reaksi kimia yang berkontribusi terhadap pembentukan cita rasa olahan jagung. Atribut rasa menjadi salah satu faktor yang berperan dalam menentukan tingkat kesukaan dan penerimaan konsumen terhadap produk.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan tingkat kesukaan rasa antara perlakuan dan kontrol. Namun demikian, tingkat penerimaan sensori pada sampel perlakuan cenderung lebih tinggi dibandingkan kontrol. Sampel perlakuan berada pada kategori biasa hingga

cenderung agak disukai, sedangkan kontrol cenderung berada pada kategori biasa. Meskipun demikian, tingkat preferensi panelis pada kedua sampel masih relatif rendah. Kondisi tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh karakter rasa olahan jagung lokal yang berbeda dengan jagung yang umum dikonsumsi panelis, sehingga sebagian panelis belum terbiasa dengan cita rasa khas jagung lokal yang digunakan dalam penelitian ini.

5.4.5 Kesukaan Keseluruhan

Kesukaan keseluruhan merupakan penilaian sensori yang menggambarkan penerimaan panelis terhadap produk secara menyeluruh sebagai hasil integrasi berbagai atribut sensori, seperti warna, aroma, rasa, dan tekstur (Berčik *et al.* 2025). Perubahan yang terjadi pada matriks pangan selama proses pengolahan dapat memengaruhi berbagai atribut sensori secara simultan sehingga menghasilkan persepsi produk yang berbeda pada konsumen. Oleh karena itu, tingkat kesukaan keseluruhan mencerminkan sejauh mana perubahan karakteristik sensori akibat perlakuan masih dapat diterima dan sesuai dengan ekspektasi panelis terhadap olahan jagung.

Hasil analisis sensori menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada tingkat kesukaan keseluruhan antara sampel perlakuan dan kontrol. Meskipun demikian, penerimaan panelis terhadap sampel perlakuan cenderung lebih tinggi dibandingkan kontrol, dengan kedua sampel masih berada pada kategori biasa hingga agak suka. Temuan ini sejalan dengan laporan Vázquez-Carrillo *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa produk jagung hasil nikstamalisasi cenderung memperoleh tingkat penerimaan lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi nikstamalisasi tidak menyebabkan perubahan sensori yang menurunkan penerimaan produk secara keseluruhan. Secara lebih spesifik, panelis cenderung lebih menerima sampel perlakuan pada atribut tekstur dan rasa, sedangkan kontrol dinilai lebih unggul pada atribut warna dan aroma. Dengan demikian, penilaian kesukaan keseluruhan merupakan hasil integrasi berbagai karakteristik produk yang dipersepsikan secara simultan oleh panelis selama konsumsi.

5.5 Pembahasan Umum

Modifikasi tahap nikstamalisasi tidak menghasilkan perbedaan indeks glikemik yang signifikan secara statistik dibandingkan kontrol, namun olahan jagung perlakuan menunjukkan kecenderungan nilai indeks glikemik yang lebih rendah. Perubahan yang terjadi pada sifat fisikokimia, khususnya derajat gelatinisasi yang lebih tinggi tidak dapat menjelaskan kecenderungan indeks glikemik yang lebih rendah pada olahan jagung perlakuan. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang turut memodulasi pencernaan pati. Temuan ini mengarah pada kemungkinan bahwa kadar kalsium yang lebih tinggi pada perlakuan dibandingkan kontrol berperan dalam memodulasi kecenderungan indeks glikemik melalui interaksi dengan matriks pangan, khususnya pati, namun mekanisme spesifiknya masih memerlukan verifikasi lebih lanjut. Perlakuan modifikasi nikstamalisasi menghasilkan penerimaan sensori yang tidak berbeda signifikan. Oleh karena itu, modifikasi tahap nikstamalisasi yang diterapkan pada pengolahan jagung dapat mempertahankan indeks glikemik pada kategori sedang tanpa mengurangi tingkat penerimaan sensori.

5.6 Keterbatasan

Beberapa parameter penelitian, seperti kadar pati, serat pangan, dan derajat gelatinisasi, dianalisis dengan jumlah ulangan yang terbatas sehingga interpretasi hasil masih bersifat deskriptif. Variasi kondisi modifikasi nikstamalisasi pada penelitian ini masih terbatas pada satu konsentrasi larutan kapur, lama perendaman, dan durasi pemasakan. Evaluasi sensori pada penelitian ini dilakukan pada kelompok usia dewasa dengan latar belakang budaya konsumsi jagung yang beragam, sehingga perbedaan tingkat familiaritas terhadap olahan jagung tradisional berpotensi memengaruhi persepsi dan penerimaan sensori produk.

VI SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

- a. Modifikasi tahap nikstamalisasi menghasilkan olahan jagung dengan indeks glikemik yang cenderung lebih rendah dibanding kontrol, meskipun perbedaannya tidak signifikan secara statistik.
- b. Pada aspek fisikokimia, perlakuan menunjukkan derajat gelatinisasi yang lebih tinggi dibanding kontrol, sementara ukuran partikel relatif setara pada kedua kelompok.
- c. Karakteristik gizi olahan jagung antara perlakuan dan kontrol relatif serupa, kecuali serat tidak larut pada perlakuan lebih rendah dibandingkan kontrol, sedangkan kalsium 3,66 kali lebih tinggi pada perlakuan dibanding kontrol.
- d. Perlakuan modifikasi nikstamalisasi menghasilkan tingkat penerimaan sensori keseluruhan yang serupa dengan kontrol, dengan kecenderungan penerimaan yang lebih baik pada atribut rasa dan tekstur

6.2 Saran

Kondisi modifikasi nikstamalisasi masih dapat dioptimalkan melalui variasi konsentrasi larutan kapur, lama perendaman, dan durasi pemasakan untuk memperoleh olahan jagung dengan indeks glikemik yang lebih rendah. Penggunaan konsentrasi larutan kapur yang lebih rendah dari 5% dalam proses perendaman jagung dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif yang berpotensi mengurangi degradasi arginin dan serat tidak larut. Selain itu, optimasi durasi pemasakan perlu dilakukan karena perubahan tekstur selama proses pengolahan diduga turut memengaruhi penerimaan sensori produk, terutama pada atribut tekstur.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik pati secara lebih spesifik, terutama kandungan amilosa, amilopektin, pati resisten, dan daya cerna pati pada olahan jagung hasil modifikasi nikstamalisasi. Analisis mikrostruktur menggunakan SEM, XRD, atau DSC juga diperlukan untuk mengkaji perubahan struktur granula pati serta interaksi antara pati-kalsium selama proses pengolahan. Selain itu, pengujian respons glikemik pada subjek dengan gangguan toleransi glukosa penting dilakukan untuk mengevaluasi relevansi fisiologis dan potensi pemanfaatannya sebagai pangan fungsional. Evaluasi sensori pada panelis dengan tingkat familiaritas yang berbeda terhadap olahan jagung tradisional juga perlu dilakukan untuk mengkaji pengaruh pengalaman konsumsi terhadap preferensi sensori produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari S, Schop M, de Boer IJM, Huppertz T. 2022. Protein quality in perspective: a review of protein quality metrics and their applications. *Nutrients*. 14(5):947. doi:10.3390/nu14050947.
- Agbor VB, Cicek N, Sparling R, Berlin A, Levin DB. 2011. Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnol Adv*. 29(6):675–685. doi:10.1016/J.BIOTECHADV.2011.05.005.
- Alvarez-Iglesias L, Malvar RA, Garzón R, Rosell CM, Revilla P. 2021. Nutritional value of whole maize kernels from diverse endosperm types and effects on rheological quality. *Agronomy*. 11(12):1–9. doi:10.3390/agronomy11122509.
- Amalia SN, Rimbawan R, Dewi M. 2011. Nilai indeks glikemik beberapa jenis pengolahan jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *J Gizi Pangan*. 6(1):36. doi:10.25182/jgp.2011.6.1.36-41.
- Artavia G, Arias-Álvarez C, Cortés-Herrera C, Granados-Chinchilla F. 2022. Physicochemical and sensory assessment of partial corn substitutions with carotenoid-containing non-traditional flours during tortilla preparation. *Cogent Food Agric*. 8(1): 2122273. doi:10.1080/23311932.2022.2122273.
- Aswatan M, Leomitro A. 2009. *Khasiat whole grain: makanan kaya serat untuk hidup sehat*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Augustin LSA, Kendall CWC, Jenkins DJA, Willett WC, Astrup A, Barclay AW, Björck I, Brand-Miller JC, Brighenti F, Buyken AE, et al. 2015. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 25(9):795–815. doi:10.1016/J.NUMECD.2015.05.005.
- Bello-Perez LA, Flores-Silva PC, Camelo-Mendez GA, Paredes-Lopez O, Figueroa-Cárdenas JDD. 2015. Effect of the nixtamalization process on the dietary fiber content, starch digestibility, and antioxidant capacity of blue maize tortilla. *Cereal Chem*. 92(3):265–270. doi:10.1094/CCHEM-06-14-0139-R
- Berčík J, Vitoris V, Korčok M, Rusková A, Durec J, Neomániová K. 2025. Organoleptic properties and neuroimaging response on the perception of edible gels. *Heliyon*. 11(1):e41649. doi:10.1016/J.HELİYON.2025.E41649.
- Bian L, Yang C, Jin Y, Wang H, Zhu M, Xu J, Bai J, Zhang M, Liu Y, Yang T, et al. 2026. Association between carbohydrate quality and glycemic control in individuals with type 1 diabetes: A cross-sectional and meal-based analysis. *PLoS One*. 21(2):e0341915. doi:10.1371/journal.pone.0341915.
- Brouns F, Björck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, Wolever TMS. 2005. Glycaemic index methodology. *Nutr Res Rev*. 18:145–171. doi:10.1079/NRR2005100.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2006. *Petunjuk Pengujian Organoleptik dan atau Sensori*. Jakarta: BSN.

Calvo-Malvar M, Lado-Baleato Ó, Ríos AC, Fernández CP, Benítez-Calvo A, Fernandez-Merino C, Sánchez-Castro J, Wagner R, Matabuena M, Gude F. 2025. Age, Sex, BMI, Meal Timing, and Glycemic Response to Meal Glycemic Load. *JAMA Netw Open*. 8(9):e2533193. doi:10.1001/jamanetworkopen.2025.33193.

Chandra L, Marsono Y, Sutedja AM. 2014. Physicochemical and organoleptic properties of red rice flake with variations in boiling temperature and drying temperature. *J Food Technol Nutr*. 13(2):57–68.

Chia CW, Egan JM, Ferrucci L. 2018. Age-related changes in glucose metabolism, hyperglycemia, and cardiovascular risk. *Circ Res*. 123(7):886–904. doi:10.1161/CIRCRESAHA.118.312806.

Chukwuma OE, Taiwo OO, Bonifasius UK. 2016. Effect of the traditional cooking methods (boiling and roasting) on the nutritional profile of quality protein maize. *J Food Nutr Sci*. 4(2):34-40. doi:10.11648/j.jfns.20160402.12.

Devi KJ, Semmichon SK, Jarh A, Sinha M, Gogoi M. 2024. Factors affecting starch digestibility and glycemic index of rice: a comprehensive review. *Plant Arch*. 24(2):568–576. doi:10.51470/plantarchives.2024.v24.no.2.080.

Eldakhakhny BM, Alamoudi AA, Binmahfooz SK, Alamoudi SA, Shawi ME, Linjawi JH, Hejji AT, Addas AA, Abdulghaffar HK, Brika RJ, *et al*. 2021. The glycemic index of food- should it be gender specific? *Curr Res Nutr Food Sci*. 9(1):202–210. doi:10.12944/CRNFSJ.9.1.20.

Eleazu CO. 2016. The concept of low glycemic index and glycemic load foods as panacea for type 2 diabetes mellitus; prospects, challenges and solutions. *Afr Health Sci*. 16(2):468–479. doi:10.4314/ahs.v16i2.15.

Escalante-Aburto A, Mariscal-Moreno RM, Santiago-Ramos D, Ponce-García N. 2020. An update of different nixtamalization technologies, and its effects on chemical composition and nutritional value of corn tortillas. *Food Rev Int*. 36(5):456–498. doi:10.1080/87559129.2019.1649693.

Escamilla-Urbina I, Totosa-Sánchez A, Rodríguez-Huezco ME, Vernon-Carter EJ, Alvarez-Ramirez J. 2025. Effect of calcium hydroxide and nixtamalization time on the in vitro starch and protein digestibility of traditional maize tortillas. *Plant Foods Hum Nutr*. 80(1):61. doi:10.1007/s11130-024-01245-z.

Estévez M, Díaz S, Remigio V. 2022. Protein carbonylation in food and nutrition : a concise update. *Amino Acids*. 54(4):559–573. doi:10.1007/s00726-021-03085-6.

[FAO] Food and Agriculture Organization. 2013. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition*. Volume ke-92. Rome: FAO

Febrianto A, Basito, Anam C. 2014. Kajian karakteristik fisikokimia dan sensoris tortilla corn chips dengan variasi larutan alkali pada proses nixtamalisasi jagung. *J Teknosains Pangan*. 3(3):22–34.

Félix-Sámano AL, Félix-Medina JV, Quintero-Soto MF, Diaz-Peña I, Gutiérrez-Dorado R. 2025. Nixtamalization and extrusion processes: effects on physicochemical, nutritional, and nutraceutical properties in the processing of corn into tortilla. *Int J Food Sci*. 2025(1):6961009. doi:10.1155/ijfo/6961009.

Ferdiansyah MK, Dewi S, Safitri N, Panulatsih SJ, Khasanah MM. 2020. Karakteristik kimia tepung jagung P21 termodifikasi menggunakan metode nixtamal dengan perlakuan lama perendaman dan konsentrasi Ca(OH)_2 . *J Teknol Pangan*. 14(1):17–29.

Figueroa JDC, Véles-Medina JJ, Tolentino-López EM, Gaytán-Martínez M, Aragón-Cuevas F, Palacios N, Willcox M. 2013. Effect of traditional nixtamalization process on starch annealing and the relation to pozole quality. *J Food Process Eng*. 36(5):704–714. doi:10.1111/JFPE.12034.

Gallego-Castillo S, Taleon V, Talsma EF, Rosales-Nolasco A, Palacios-Rojas N. 2021. Effect of maize processing methods on the retention of minerals, phytic acid and amino acids when using high kernel-zinc maize. *Curr Res Food Sci*. 4:279–286. doi:10.1016/J.CRFS.2021.03.007.

Garrido-Balam M, Chel-Guerrero L, Gallegos-Tintoré S, Castellanos-Ruelas A, Rodríguez-Canto W, Betancur-Ancona D. 2023. Nutritional characterization of quality protein maize (QPM) (*Zea mays* L.) protein concentrates. *Food Humanit*. 1:1250–1255. doi:10.1016/j.foohum.2023.09.022.

Gunawan MIF, Riandani AP, Saleh ERM, Rodianawati I, Budaraga IK, Surani S, Nurbaya SR, Astuti SD, Nurhayati N, Fayyadh ZN. 2024. *Teknik evaluasi sensori produk pangan*. Volume ke-1. Padang: Hei Publishing Indonesia.

Gutiérrez-Cortez E, Hernández-Becerra E, Londoño-Restrepo SM, Millan-Malo BM, Morales-Sánchez E, Gaytán-Martínez M, Rodríguez-García ME. 2022. Changes in the physicochemical properties of maize endosperm, endosperm fractions, and isolated starches because of nixtamalization. *J Cereal Sci*. 108:103583. doi:10.1016/J.JCS.2022.103583.

Hadinoto K, Ling JK-U, Pu S, Tran T-T. 2024. Effects of alkaline extraction pH on amino acid compositions, protein secondary structures, thermal stability, and functionalities of brewer's spent grain proteins. *Int J Mol Sci*. 25(12). doi:10.3390/ijms25126369.

Han Y, Wei S, Xu A, Wei C. 2025. Development and properties of starches in vitreous and floury endosperm of maize. *Agriculture*. 15(18):1–16. doi:10.3390/agriculture15181978.

Hassan SM, Forsido SF, Tola YB, Bikila AM, Ahmed Z. 2023. Effect of nixtamalization on the nutritional, anti-nutritional, functional, physicochemical and mineral properties of maize (*Zea mays*) tortillas. *J Food Chem Nanotechnol*. 9(3):132–140. doi:10.17756/JFCN.2023-159.

- Holm J, Lundquist I, Bjorck I, Eliasson AC, Asp NG. 1988. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. *Am J Clin Nutr.* 47(6):1010–1016. doi:10.1093/AJCN/47.6.1010.
- El Hosry EL, Elias V, Chamoun V, Halawi M, Cayot P, Nehme A, Bou-Maroun E. 2025. Maillard reaction: mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: a review. *Foods.* 14(11):1881. doi:10.3390/FOODS14111881.
- [IDF] International Diabetes Federation. 2025. *IDF Diabetes Atlas*. Brussels: IDF.
- Joshi D, Sadawarte S, Joshi M, Gawad S, Machewad G. 2025. Effect of nixtamalization on nutritional composition of corn (*Zea mays*). *Int J Agric Food Sci.* 7(7):504–506. doi:10.33545/2664844X.2025.v7.i7g.551.
- Kamau EH, Nkhata SG, Ayua EO. 2020. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Sci Nutr.* 8(4):1753–1765. doi:10.1002/FSN3.1473.
- Karimuna SR, Paridah, Jufri NN. 2018. Penentuan indeks glikemik SIKKATO (Sinonggi, Kasuami, Kambuse dan Kabuto) pada subjek non diabetes melitus. *Preventif Journal.* 3(1).
- [Kemenkes RI] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2018. *Laporan Nasional Riskesdas 2018*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kemenkes RI.
- [Kemenkes RI]. 2020. *Tabel Komposisi Pangan Indonesia*. Jakarta: Kemenkes RI.
- [Kemenkes RI]. 2023. *Survei Kesehatan Indonesia (SKI) dalam angka*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kimura M, Itokawa Y. 1990. Cooking losses of minerals in foods and its nutritional significance. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 36(Supl 1):S25–33. doi:10.3177/jnsv.36.4-SupplementI_S25
- Kljak K, Duvnjak M, Grbeša D. 2018. Contribution of zein content and starch characteristics to vitreousness of commercial maize hybrids. *J Cereal Sci.* 80:57–62. doi:10.1016/J.JCS.2018.01.010.
- Kljak K, Zurak D, Svečnjak Z, Grbeša D. 2024. Relationship of physical properties and macronutrient composition with carotenoid profile in maize hybrids. *Agriculture.* 14(3):1–15. doi:10.3390/agriculture14030384.
- Lal MK, Singh B, Sharma S, Singh MP, Kumar A. 2021. Glycemic index of starchy crops and factors affecting its digestibility: a review. *Trends Food Sci Technol.* 111:741–755. doi:10.1016/j.tifs.2021.02.067.
- Leon DCA, Bonto AP, Tuaño APP, Juanico CB. 2022. Nutrient composition, starch microstructure and thermal properties, and in vitro availability of selected minerals of nixtamalized Philippine quality protein maize variety IPB Var 6 and the production of healthy loaf bread using nixtamalized corn–wheat fl. *J Food Process Preserv.* 46(9):e16665. doi:10.1111/JFPP.16665.

Listyaningsih KD, Astuti HP, Wijayanti IB. 2018. Pengaruh konsumsi susu jagung dan senam lansia terhadap tekanan darah dan kadar kolesterol pada lansia. *Jurnal Kesehatan Kusuma Husada*. 9(1):115–119. doi:10.34035/jk.v9i1.268.

Mariscal-Moreno RM, Cardenas J de DF, Santiago-ramos D, Rayas-duarte P, Veles-Medina JJ, Martinez-Flores HE. 2017. Nixtamalization process affects resistant starch formation and glycemic index of tamales. *J Food Sci*. 82(5):1110–1115. doi:10.1111/1750-3841.13703

Mariscal-Moreno RM, Figueroa JDC, Santiago-Ramos D, Villa GA, Sandoval SJ, Rayas-Duarte P, Véles-Medina JJ, Martínez Flores HE. 2015. The effect of different nixtamalisation processes on some physicochemical properties, nutritional composition and glycemic index. *J Cereal Sci*. 65:140–146. doi:10.1016/j.jcs.2015.06.016.

Martinez-Ortiz C, Barron-Garcia OY, Rodriguez-Garcia ME, Morales-Sánchez E, Villamiel M, Gaytán-Martínez M. 2025. Influence of nixtamalization time and solid-state fermentation on masa starch: morphology, structure, and physicochemical properties. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 103:104038. doi:10.1016/j.ifset.2025.104038.

Millati T, Nurhayati. 2020. Mini review pembuatan resistant starch pati beras dengan metode enzimatis dan fisik. *Jurnal Agrotek Ummat*. 7(2):110–121. doi:10.31764/jau.v7i2.2719

Mondragon M, Bello-Pérez LA, Agama E, Melo A, Betancur-Ancona D, Peña JL. 2004. Effect of nixtamalization on the modification of the crystalline structure of maize starch. *Carbohydr Polym*. 55(4):411–418. doi:10.1016/j.carbpol.2003.11.006.

Moreno YS, Martínez VH, Téllez LIT, Díaz JLR, Gómez OI. 2017. Nutritional composition and bioactive compounds in tortillas of native populations of corn with blue/purple grain. *Rev Mex De Cienc agríc*. 8(7):1483–1496. doi:10.29312/remexca.v8i7.525.

Muleya M, Li D, Chiutsi-Phiri G, Botoman L, Brameld JM, Salter AM. 2023. In vitro determination of the protein quality of maize varieties cultivated in Malawi using the INFOGEST digestion method. *Heliyon*. 9(9): e19797. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e19797.

Nafsiyah I, Diachanty S, Sari RS, Rizki RR, Lestari S, Syukerti N. 2022. Profil hedonik kemplang panggang khas Pemalang. *Clarias*. 3(1):1–5. doi:10.56869/clarias.v3i1.343

Novita DD, Asropi, Kuncoro. 2019. Pemodelan karakteristik penyerapan air pada jagung (*Zea mays* L.), Sorgum (*Sorghum bicolor* L.), dan Hanjeli (*Coix lacyma-jobi* L.) selama perendaman. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 30(2):131–138.

Palacios-Pola G, Perales HR, Cárdenas J de F, Abud-Archila M, Escalante-Aburto A, Rateike LA, Martínez SDCB, Quevedo VL. 2025. Functional and sensory properties of toasted tortillas are shaped by structural changes in

native maize starch. *Front Nutr.* 12:1695996. doi:10.3389/fnut.2025.1695996

Palacios-Pola G, Rivera HP, Figueroa-Cárdenas J de D, Estrada ZJH. 2021. Changes in the physical, chemical, and sensory properties from three native corn landraces from Chiapas using two nixtamalization times. *Int J Gastron Food Sci.* 25:100373. doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100373.

Pieters M, Jerling J. 2005. Measuring the glycaemic index – consensus and issues of debate. *S Afr J Clin Nutr.* 18(3):232–236. doi:10.1080/16070658.2005.11734072.

Pineda-Gomez P, Rosales-Rivera A, Gutierrez-Cortez E, Rodriguez-Garcia ME. 2020. Comparative analysis of the water diffusion in the corn grains, with and without pericarp during the thermo-alkaline treatment. *Food Bioprod Process.* 119:38–47. doi:10.1016/J.FBP.2019.10.006.

Raczkowska E, Bienkiewicz M, Gajda R, Bronkowska M, Piotrowska E, Habánová M. 2022. Do body composition and values of selected nutritional status indices influence the glycaemic index values of vegetarian dishes? A pilot study in a group of older women. *Int J Environ Res Public Health.* 19(16):9918. doi:10.3390/ijerph19169918.

Ramadhan A, Wahyuni S, Faradilla RF. 2025. Pengaruh perbedaan cara pengolahan, konsentrasi kapur sirih, dan lama pemasakan terhadap kualitas Kambuse instan. *J Ris Pangan.* 3(3):297–309.

Ramos PIK, Tuaño APP, Juanico CB. 2022. Microbial quality, safety, sensory acceptability, and proximate composition of a fermented nixtamalized maize (*Zea mays* L.) beverage. *J Cereal Sci.* 107:103521. doi:10.1016/j.jcs.2022.103521.

Rimbawan, Siagian A. 2004. *Indeks Glikemik Pangan*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Robles-Ramírez M del C, Flores-Morales A, Mora-Escobedo R. 2012. Corn tortillas : physicochemical, structural and functional changes. Di dalam: Jimenez-Lopez JC, editor. *Maize cultivation, uses and health benefit*. New York (NY): Nova Science Publishers. hlm 89-112.

Rojas-Molina I, Gutierrez-Cortez E, Palacios-Fonseca A, Baños L, Rodríguez ME. 2007. Study of structural and thermal changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.* 84(4):304–312. doi:10.1094/CCHEM-84-4-0304

Sánchez-Madrigal MÁ, Neder-Suárez D, Quintero-Ramos A, Ruiz-Gutiérrez MG, Meléndez-Pizarro CO, Piñón-Castillo HA, Galicia-García T, Ramírez-Wong B. 2015. Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β -glucans. *Food Sci Technol.* 35(3):552–560. doi:10.1590/1678-457X.6715.

Santiago-Ramos D, Figueroa-Cárdenas J de D, Mariscal-Moreno RM, Escalante-Aburto A, Ponce-García N, Véles-Medina JJ. 2018. Physical and chemical changes undergone by pericarp and endosperm during corn nixtamalization: a review. *J Cereal Sci.* 81:108–117. doi:10.1016/J.JCS.2018.04.003.

Sefa-Dedeh S, Cornelius B, Sakyi-Dawson E, Afoakwa EO. 2004. Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. *Food Chem.* 86(3):317–324. doi:10.1016/j.foodchem.2003.08.033.

Septianingrum E, Liyanan L, Kusbiantoro B. 2016. Review indeks glikemik beras : faktor-faktor yang mempengaruhi dan keterkaitannya terhadap kesehatan tubuh [Rice glycemic index : the factors affecting and the impact on human health]. *J Kesehat.* 1(1):1–9. doi:10.23917/jurkes.v9i1.3434

Sundari D, Almasyhuri, Lamid A. 2015. Pengaruh proses pemasakan terhadap komposisi zat gizi bahan pangan sumber protein [Effect of cooking process of composition nutritional substances some food ingredients protein source]. *Media Litbangkes.* 25(4):235–242.

Sunico DJA, Rodriguez FM, Tuaño APP, Mopera LE, Atienza LM, Juanico CB. 2021. Physicochemical and nutritional properties of nixtamalized quality protein maize flour and its potential as substitute in Philippine salt bread. *Chiang Mai Univ J Nat Sci.* 20(2):e2021035. doi:10.12982/CMUJNS.2021.035.

Tarwendah IP. 2017. Jurnal review: studi komparasi atribut sensoris dan kesadaran merek produk pangan. *J Pangan dan Agroindustri.* 5(2):66-73.

Tester RF, Qi X, Karkalas J. 2006. Hydrolysis of native starches with amylases. *Anim Feed Sci Technol.* 130(1–2):39–54. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2006.01.016.

Trejo-Gonzalez A, Feria-Morales A, Wild-Altamirano C. 1982. The Role of Lime in the Alkaline Treatment of Corn for Tortilla Preparation. Di dalam: Feeney, R. E.; Whitaker JR, editor. *Modification of Proteins (Advances in Chemistry Series No. 198)*. Washington, DC: American Chemical Society. hlm 245–263. doi:10.1021/ba-1982-0198.ch009.

Vázquez-Carrillo MG, Palacios-Rojas N, Mier-Sainz Trapaga R, García-Cruz L, Rosas-Zamora G, Rosales-Nolasco A, Santillano-Gómez LC. 2025. Commercial limes (calcium hydroxide) in corn tortilla production: changes in pH, color, sensory characteristics, and shelf life. *Qual Assur Saf Crop Foods.* 17(3):173–185. doi:10.15586/qas.v17i3.1557.

Vega Rojas LJ, Rojas Molina I, Gutiérrez Cortez E, Rincón Londoño N, Acosta Osorio AA, Del Real López A, Rodríguez García ME. 2017. Physicochemical properties of nixtamalized corn flours with and without germ. *Food Chem.* 220:490–497. doi:10.1016/j.foodchem.2016.10.039.

Velasco Hernandez MJ. 2025. Impact of nixtamalization on flavor development in traditional Mexican tortillas: a comparative analysis of aroma impact compounds [tesis]. Urbana (IL): University of Illinois Urbana-Champaign

Villa GA, Rosiles RS, Villalobos RR, González FR, Cárdenas J de dios F, Albores JAM. 2017. Structural, thermal and rheological properties of nixtamalized maize masa obtained from varying the concentration of calcium hydroxide and cooking time. *Bulg J Agric Sci.* 23(4):653–663.

- Wadhera D, Capaldi-Phillips ED. 2014. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eat Behav.* 15(1):132–143. doi:10.1016/J.EATBEH.2013.11.003.
- Whitney EN, Rolfes SR. 2019. *Understanding nutrition*. Boston (MA): Cengage Learning.
- [WHO] World Health Organization. 2007. *Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation*. WHO technical report series 935. Jenewa: WHO.
- [WHO]. 2023. *Diabetes*. [diakses 2023 Okt 27]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.
- Widowati S. 2012. Keunggulan jagung QPM (Quality Protein Maize) dan potensi pemanfaatannya dalam meningkatkan status gizi. *Pangan*. 21(2):171–184.
- Widyanto B. 2016. Pemanfaatan nixtamal jagung untuk pembuatan flakes [skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya
- Yasin MH, Sumarno, Nur A. 2014. *Perakitan Varietas Unggul Jagung Fungsional*. Bogor: IAARD Press.
- Zakiyah TS, Winarti S, Yulistiani R. 2022. Pengaruh konsentrasi Ca(OH)_2 dan suhu pemasakan pada proses nixtamalisasi tepung jagung. *Teknologi Pangan*. 13(36):175–186.

