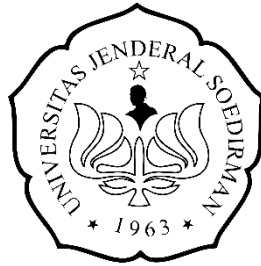


SKRIPSI

OPTIMASI FORMULA *FLAKES* BERBASIS TEPUNG SORGUM TERMODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN TEPUNG KELAPA MENGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL



Oleh:

**Nadhira Septiana Ahnafiani
NIM A1F021024**



**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana pada Fakultas Pertanian
Universitas Jenderal Soedirman**

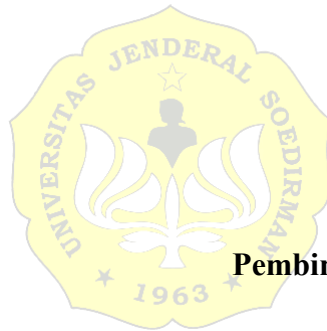
**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS PERTANIAN
PURWOKERTO
2025**

SKRIPSI

OPTIMASI FORMULA *FLAKES* BERBASIS TEPUNG SORGUM TERMODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN TEPUNG KELAPA MENGUNAKAN METODE MIXTURE D-OPTIMAL

Oleh:
Nadhira Septiana Ahnafiani
NIM A1F021024

Diterima dan disetujui
Tanggal:



Pembimbing I,

Pembimbing II,

Prof. Dr. Nur Aini, S.TP., M.P.
NIP 19730201 199702 2 001

Dr. Santi Dwi Astuti, S.TP., M.Si.
NIP 19780423 200501 2 001

Mengetahui:
Dekan

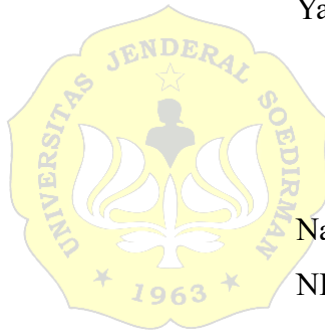
Prof. Dr. Sakhidin, M.P.
19630422 198903 1 004

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Data-data skripsi ini merupakan bagian dari proyek penelitian **yang ketuanya adalah** Prof. Dr. Nur Aini, S.TP., M.P. Hal intelektual sepenuhnya milik ketua proyek penelitian.

Purwokerto, September 2025

Yang menyatakan,



Nadhira Septiana Ahnafiani

NIM A1F021024

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya, sehingga penulisan skripsi yang berjudul “Optimasi Formula *Flakes* Berbasis Tepung Sorgum Termodifikasi dengan Penambahan Tepung Kelapa Menggunakan Metode Mixture D-Optimal” berhasil diselesaikan. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sakhidin, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto atas izin penelitiannya.
2. Dr. Pepita Haryanti, S.TP., M.Sc., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Pangan Universitas Jenderal Soedirman.
3. Prof. Dr. Nur Aini, S.TP., M.P., selaku Pembimbing I, yang telah memberikan arahan, saran, masukan serta bimbingan dalam penulisan skripsi.
4. Dr. Santi Dwi Astuti, S.TP., M.Si., selaku Pembimbing II, yang telah memberikan arahan, saran, masukan serta bimbingan dalam penulisan skripsi.
5. Kedua orang tua dan keluarga atas doa, kasih sayang dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam penulisan skripsi.
6. Alicia Azzahra dan Hafiizhah Nurhusna Nabila Muthi, sahabat penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan selama perkuliahan hingga penulisan skripsi.
7. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penelitian maupun penulisan skripsi.

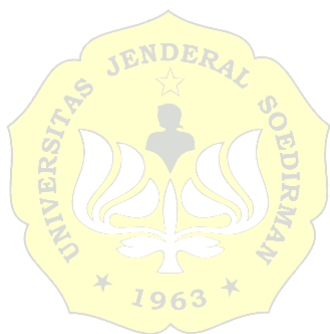
Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Meskipun demikian, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Purwokerto, September 2025
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Sorgum	5
B. Fermentasi	6
C. Flakes	8
D. Kelapa.....	11
E. Bahan Pembuatan <i>Flakes</i>	12
F. <i>Design expert</i> D-Optimal	15
III. METODE PENELITIAN.....	17
A. Tempat dan Waktu	17
B. Bahan dan Alat	17
C. Metode.....	18
D. Variabel dan Pengukuran.....	22
E. Analisis Data	36
F. Pelaksanaan Penelitian	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
A. Karakterisasi Tepung Sorgum Termodifikasi	41
B. Optimasi Formula.....	48
C. Penentuan Formula Optimum dan Verifikasi Respon	58
D. Karakterisasi Formula Optimum	60
E. Pembahasan Umum.....	70
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	88
RIWAYAT HIDUP	106



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil penelitian terdahulu pembuatan <i>flakes</i>	10
2. Batas atas dan batas bawah faktor yang diamati.....	19
3. Kombinasi perlakuan berdasarkan <i>design expert</i>	19
4. Kriteria dan tingkat kepentingan variabel dan respon optimasi.....	21
5. Konsentrasi sampel (% b/v) pada uji <i>threshold</i>	33
6. Deskripsi atribut sensori produk	35
7. Skala penilaian uji hedonik	35
8. Skala penilaian uji skoring	36
9. Variabel berubah dalam jumlah %	39
10. Bahan tambahan (variabel tetap) dalam jumlah %	39
11. Karakteristik kimia dan amilosa tepung sorgum termodifikasi.....	41
12. Profil gelatinisasi tepung sorgum termodifikasi	44
13. Waktu puncak dan suhu pasting tepung sorgum termodifikasi.....	47
14. Hasil respon <i>hardness</i> , daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu	48
15. Ringkasan hasil analisis <i>design expert</i>	49
16. Komponen respon yang dioptimasi, target, batas, dan kepentingan	58
17. Verifikasi formula optimum dan prediksi respon.....	59
18. Hasil analisa kimia <i>flakes</i> formula optimum dan <i>flakes</i> komersial.....	60
19. Hasil uji skoring formula optimum.....	65
20. Hasil uji hedonik formula optimum dan <i>flakes</i> komersial	68

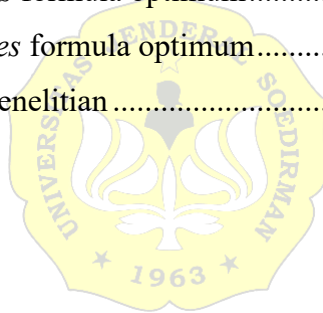
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Model kuadratik 2D respon <i>hardness</i>	51
2. Model kuadratik 2D respon daya rehidrasi	54
3. Model kuadratik 2D respon ketahanan renyah dalam susu.....	56



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram alir pelaksanaan penelitian	88
2. Proses pembuatan tepung sorgum termodifikasi (Astuti <i>et al.</i> , 2017)	89
3. Diagram alir proses pembuatan <i>flakes</i> (Gozaly <i>et al.</i> , 2019)	90
4. Rincian formula bahan pembuatan <i>flakes</i>	91
5. Tabel ANOVA respon kekerasan (<i>hardness</i>)	92
6. Tabel ANOVA respon daya rehidrasi	93
7. Tabel ANOVA respon ketahanan renyah dalam susu	94
8. Hasil paired T-test analisa proksimat formula kontrol dan optimum	95
9. Hasil uji normalitas tingkat kesukaan <i>flakes</i>	97
10. Hasil uji wilcoxon <i>flakes</i> formula optimum dan <i>flakes</i> komersial	98
11. Lembar uji skoring <i>flakes</i> formula optimum	99
12. Lembar uji hedonik <i>flakes</i> formula optimum	101
13. Dokumentasi kegiatan penelitian	103



RINGKASAN

Sarapan pagi seringkali diabaikan karena keterbatasan waktu, sehingga diperlukan produk praktis dan bergizi seperti flakes. Sorgum berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku *flakes*, namun memiliki keterbatasan dalam pemanfaatannya yang menyebabkan karakteristik fisikokimia dan sensoris pada tepung maupun produk olahannya, sehingga diperlukan modifikasi pati. Penambahan tepung kelapa sebagai sumber serat dalam formulasi *flakes* dinilai mampu meningkatkan kerenyahan, memperbaiki mutu sensoris, serta meningkatkan nilai gizi *flakes*. Proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa yang tepat berkontribusi terhadap karakteristik *flakes* dengan tingkat kekerasan rendah, daya rehidrasi seimbang serta ketahanan renyah yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengetahui formula optimum dari proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa pada pembuatan *flakes* 2) mengetahui karakteristik kimia dan sensoris *flakes* yang dihasilkan dari formula optimum.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, serta Laboratorium Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Penelitian dilaksanakan dari bulan Oktober 2024 hingga bulan Juli 2025. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mixture D-Optimal untuk menentukan formula optimal *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa dengan respon *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Formula optimal yang diperoleh kemudian dilakukan verifikasi dan validasi, serta karakterisasi sifat kimia (kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein total, kadar karbohidrat *by difference*, kadar serat pangan, dan total energi) dan sensoris (warna, tekstur, rasa khas sorgum, aroma kelapa, *mouthfeel*, dan penerimaan keseluruhan).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula optimum diperoleh pada proporsi 50% tepung sorgum termodifikasi dan 5% tepung kelapa dengan nilai *desirability* 0,929 menghasilkan *flakes* dengan *hardness* sebesar 705,67 gf, daya rehidrasi sebesar 40,08%, dan ketahanan renyah dalam susu selama 7,10 menit. Formula optimum memiliki karakteristik kimia kadar air 5,11%, kadar abu 2,10%, kadar lemak 6,40%, kadar protein total 3,36%, kadar karbohidrat *by difference* 86,25%, kadar serat pangan 9,28%, dan total energi 3,30 kkal/g, dengan kadar lemak signifikan lebih tinggi dibanding *flakes* komersial. Secara sensoris, *flakes* formula optimum berwarna kuning kecoklatan (4,00), tekstur renyah (5,65), rasa tidak khas sorgum (3,95), aroma tidak khas kelapa (3,90), *mouthfeel* berpasir (3,65), serta tingkat kesukaan keseluruhan lebih tinggi dibandingkan *flakes* komersial, dengan kategori suka (6,13).

SUMMARY

Breakfast is often neglected due to time constraints, so practical and nutritious products such as flakes are needed. Sorghum has the potential to be used as a raw material for flakes, but it has limitations in its use that affect the physicochemical and sensory characteristics of the flour and its processed products, so starch modification is needed. The addition of coconut flour as a source of fiber in the flake formulation is considered to be able to increase crispness, improve sensory quality, and increase the nutritional value of flakes. The right proportion of modified sorghum flour and coconut flour contributes to the characteristics of flakes with low hardness, balanced rehydration, and optimal crispness. This study aims to 1) determine the optimal formula for the proportion of modified sorghum flour and coconut flour in flake production 2) determine the chemical and sensory characteristics of flakes produced from the optimal formula.

The research was conducted at the Agricultural Technology Laboratory, Faculty of Agriculture, and the Animal Product Technology Laboratory, Faculty of Animal Husbandry, Jenderal Soedirman University, Purwokerto. The research was conducted from October 2024 to July 2025. The method used in this study was Mixture D-Optimal to determine the optimal formula for modified sorghum flour flakes with the addition of coconut flour in terms of hardness, rehydration capacity, and crispness retention in milk. The optimal formula obtained was then verified and validated, and characterized for its chemical properties (moisture content, ash content, fat content, total protein content, carbohydrate content by difference, dietary fiber content, and total energy) and sensory properties (color, texture, characteristic sorghum flavor, coconut aroma, mouthfeel, and overall acceptance).

The results of the study show that the optimum formula was obtained at a proportion of 50% modified sorghum flour and 5% coconut flour with a desirability value of 0.929, producing flakes with a hardness of 705.67 gf, a rehydration capacity of 40.08%, and crispness retention in milk for 7.10 minutes. The optimum formula has chemical characteristics of 5.11% moisture content, 2.10% ash content, 6.40% fat content, 3.36% total protein content, 86.25% carbohydrate content by difference, 9.28% dietary fiber content, and 3.30 kcal/g total energy, with a significantly higher fat content than commercial flakes. Sensory evaluation revealed that the optimum formula flakes were light brown in color (4.00), crispy in texture (5.65), had no distinctive sorghum flavor (3.95), no distinctive coconut aroma (3.90), a sandy mouthfeel (3.65), and a higher overall liking score compared to commercial flakes, with a liking category of 6.13.

I. PENDAHULUAN

Sarapan menjadi aktivitas penting sebagai pemenuhan asupan gizi sebelum menjalani rutinitas harian, dengan syarat sarapan yang baik yakni kaya akan karbohidrat, serat, serta mikronutrien. Sarapan berperan dalam mengontrol berat badan, mengendalikan faktor risiko kardio-metabolik, serta mendukung kinerja kognitif secara optimal (Gibney *et al.*, 2018). Akan tetapi, padatnya aktivitas menyebabkan masyarakat cenderung melewatkan sarapan pagi karena keterbatasan waktu dalam menyiapkannya. Melewatkan sarapan pagi mampu meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, seperti obesitas, tekanan darah tinggi, kolesterol, dan diabetes (Ofori-Asenso *et al.*, 2019). Kondisi tersebut mendorong pengembangan akan produk sarapan yang tidak hanya praktis dan cepat saji, melainkan juga memiliki nilai gizi tinggi serta dapat meningkatkan rasa kenyang.

Sereal siap saji merupakan alternatif produk sarapan siap santap yang digemari oleh banyak kalangan karena kemudahan dalam penyajiannya. Data Statista (2025), melaporkan peningkatan permintaan sereal di Indonesia dengan proyeksi pendapatan pasar mencapai US\$ 51,72 juta dan diperkirakan terus tumbuh hingga 2029. Sejalan dengan tren peningkatan permintaan pasar, produk sereal hadir dalam berbagai bentuk dan teknik pengolahannya, seperti *flakes*, *shredded*, ekstrudat, puff, granola, dan *pre-processed hot cereals* (Fast *et al.*, 2020). *Flakes* merupakan sereal berbentuk serpihan tipis, bertekstur renyah, serta dikonsumsi secara langsung maupun dengan penambahan susu (Komala *et al.*, 2017). Umumnya, *flakes* berbahan baku jagung dengan sebutan *corn flakes*, namun kini banyak dikembangkan dari bahan pangan lokal lainnya sebagai upaya diversifikasi pangan dan peningkatan nilai gizi. Di antara beragam bahan pangan lokal sumber karbohidrat, salah satu komoditas yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku *flakes* yaitu sorgum.

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) diakui sebagai sereal penting yang menduduki peringkat ke-5 setelah padi, gandum, jagung, dan barley (ICRISAT & FAO, 1996), dengan kandungan pati tinggi sekitar 69,5%, sehingga potensial dikembangkan menjadi produk turunan tepung (Suarni, 2016). Tepung sorgum telah diaplikasikan pada berbagai produk pangan, seperti roti (Adzqia *et al.*, 2023),

cookies (Bukonja *et al.*, 2025), mie (Rahayu *et al.*, 2019), dan *flakes* (Wu *et al.*, 2018). Namun, pemanfaatannya terbatas akibat adanya senyawa antinutrisi yang berkontribusi pada karakteristik tepung yang berwarna gelap, rasa sepat, bau langu, serta rendahnya daya cerna (Mohapatra *et al.*, 2019). Selain itu, tepung sorgum tanpa modifikasi memiliki suhu gelatinisasi tinggi dan rendahnya kapasitas penyerapan air, sehingga membatasi pengembangan, kecenderungan retrogradasi, dan tidak stabil terhadap pemanasan (Yan *et al.*, 2023). Upaya perbaikan dapat dilakukan melalui fermentasi menggunakan bakteri asam laktat (BAL), yang efektif dalam menurunkan senyawa antinutrisi, meningkatkan daya cerna, serta memperbaiki sifat fungsional tepung melalui pemecahan granula pati (Aini *et al.*, 2016; Setiarto *et al.*, 2016). Pemecahan granula pati berkaitan dengan pelepasan amilosa (*leaching*), sehingga rasio amilopektin meningkat (Kinanti *et al.*, 2014). Meningkatnya rasio amilopektin tersebut mendukung kemampuan pati dalam penyerapan air dan peningkatan viskositas, sebagaimana dijelaskan oleh Astuti *et al.* (2017). Modifikasi pati tersebut mengarah pada peningkatan kualitas produk olahan sorgum, termasuk flakes, yang dihasilkan dengan tekstur berpori, garing dan renyah (Susanti *et al.*, 2017).

Menurut Sarofa *et al.* (2023), semakin banyak proporsi tepung sorgum termodifikasi yang ditambahkan maka daya patah flakes semakin tinggi yang menunjukkan bahwa flakes semakin keras. Oleh karena itu, diperlukan penambahan bahan lain untuk memperbaiki tekstur flakes, salah satunya tepung kelapa. Tepung kelapa merupakan tepung bebas gluten yang diolah dari daging kelapa, dengan kandungan serat tinggi mencapai 25,41% dan 33,56% lemak (Ramya & Pattan, 2019). Jiamjariyatam *et al.* (2021) menyatakan bahwa penambahan tepung kelapa berpengaruh signifikan terhadap peningkatan rasa dan aroma kelapa, kerapuhan, kerenyahan serta penerimaan keseluruhan produk pangan. Kerapuhan suatu produk dipengaruhi oleh kandungan serat pada tepung kelapa yang memiliki kemampuan mengikat air (*water holding capacity*), sehingga berkontribusi terhadap penurunan tingkat kekerasan (*hardness*) dan daya patah produk (Mert *et al.*, 2015).

Karakteristik mutu *flakes* umumnya ditentukan berdasarkan tekstur, terutama tingkat kekerasan yang berkorelasi dengan kerenyahan. Kerenyahan *flakes* dipengaruhi oleh fraksi amilosa dan amilopektin pati, kandungan lemak, serta

penggunaan bahan pengembang yang memengaruhi sifat mikrostruktural produk. Menurut Hersoelistyorini *et al.* (2015), tepung dengan kadar amilosa rendah merangsang proses mekar (*puffing*), sehingga *flakes* ringan, berpori, garing, dan renyah. Selain itu, penggunaan lemak seperti tepung kelapa dan bahan pengembang berkontribusi terhadap peningkatan kerenyahan *flakes* melalui pembentukan gas CO₂ yang membentuk struktur berpori dalam matriks hasil interaksi pati dengan air (Purnamasari & Putri, 2015; Yashinta *et al.*, 2021). Struktur berpori pada *flakes* memiliki kemampuan menyerap air kembali, dimana semakin tinggi tingkat porositas *flakes* akan meningkatkan kemampuan rehidrasinya. Akan tetapi, tingginya kemampuan daya rehidrasi menyebabkan produk cenderung cepat lunak apabila dikonsumsi dengan susu atau cairan, sehingga menurunkan tingkat ketahanan kerenyahan produk (Susanti *et al.* 2017).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini dilakukan optimasi proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa pada pembuatan *flakes*. Optimasi dilakukan guna menghasilkan produk optimal sesuai dengan batasan yang ditetapkan. Penentuan interval batas atas dan batas bawah faktor pada penelitian ini didasarkan pada penelitian pendahuluan. Optimasi dilakukan melalui *software Design expert v.13* dengan rancangan *mixture design D-optimal*. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik fisikokimia dari dua campuran bahan atau lebih. Keuntungan pemilihan metode ini mampu menghasilkan formula optimal berdasarkan data respon dari masing-masing parameter dengan taraf kepercayaan tinggi (Surya *et al.*, 2021). Dalam penelitian ini, bahan yang divariasikan adalah tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa yang diharapkan menghasilkan satu rekomendasi formula optimum *flakes* sesuai dengan respon yang dikehendaki meliputi *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu.

Penelitian ini bertujuan mengetahui formula optimum *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa, serta mengetahui karakteristik fisikomia dan sensoris *flakes* yang dihasilkan dari formula optimum. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai sarana penerapan ilmu yang diperoleh peneliti serta pengembangan potensi di bidang pangan. Hasil penelitian diharapkan menjadi informasi rujukan, menambah wawasan ilmu pengetahuan,

serta membuka peluang penelitian lanjutan. Produk yang dihasilkan ditujukan sebagai inovasi produk pangan berbasis sumber daya lokal, dengan pemanfaatan tepung sorgum dan tepung kelapa yang berpotensi meningkatkan nilai ekonomi sekaligus kesejahteraan petani.



II. TINJAUAN PUSTAKA

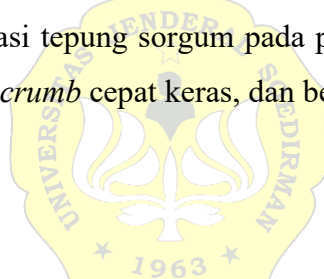
A. Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) merupakan tanaman pangan tropis yang berasal dari *famili Poaceae* dan tersebar luas di daerah dengan iklim panas dan kering, seperti Asia, Afrika, dan Amerika Latin. Tanaman sereal ini menduduki peringkat ke-5 setelah padi, gandum, jagung, dan barley (ICRISAT & FAO, 1996). Terdapat beberapa varietas yang telah dibudidayakan di berbagai wilayah, baik berdasarkan tujuan budidaya, kondisi iklim, maupun kecenderungan petani. Indonesia sendiri telah mengembangkan beberapa varietas sorgum, meliputi varietas super 1, super 2, numbu, dan kawali yang menunjukkan perbedaan pada bentuk, warna, serta kandungan gizinya. Pada penelitian ini menggunakan sorgum dengan karakteristik warna putih, sekam cokelat muda, serta berasal dari varietas super 1. Sorgum varietas super 1 merupakan perbaikan populasi Watar Hamu Putih hasil koleksi plasma nutfah (BPSI Tanaman Sereal, 2024). Berdasarkan SK Menteri Pertanian : 5009/Kpts/SR.120/12/2013, sorgum varietas super 1 mengandung protein 12,9%, lemak 2,2%, karbohidrat 13,5%, dan tanin 0,11%. Varietas tersebut memiliki keunggulan tahan hama aphid, tahan penyakit antraknose, karat daun dan hawar daun, serta cocok ditanam pada lahan kering (Mulyandari, 2018).

Sorgum memiliki beberapa keunggulan komparatif dibandingkan tanaman pangan lainnya karena daya adaptasinya luas, toleransi terhadap kekeringan dan lahan marginal, produktivitas tinggi, dan tahan terhadap hama dan penyakit. Keunggulan yang dimilikinya memungkinkan tanaman sorgum berpotensi untuk dikembangkan, sejalan dengan pemanfaatan sorgum pada lahan kering di Indonesia. Total luas lahan kering di Indonesia yakni 144,47 ha, dimana sekitar 63,35% merupakan lahan untuk pertanian tanaman pangan. Suhu optimum untuk pertumbuhan sorgum berkisar antara 21°C – 35°C dengan suhu tanah minimum 15-18°C (Andayani, 2021). Secara umum, biji sorgum memiliki bentuk bulat dengan ukuran biji sekitar 4 x 2,5 x 3,5 mm dan beratnya bervariasi antara 8-50 mg. Warna

bijinya yang beragam menentukan tujuan dari penggunaannya seperti warna putih, putih kecokelatan, merah, dan coklat (Azrai *et al.*, 2021).

Menurut USDA (2024), sorgum mengandung 74,9 g karbohidrat, 10,2 g protein, 3,9 g serat dan 3,26 g lemak dalam 100 g. Sorgum mengandung pati sekitar 69,5% yang terdiri atas 20-30% amilosa dan 70-80% amilopektin (Suarni, 2016). Tingginya kandungan pati memungkinkan sorgum dimanfaatkan sebagai alternatif sumber karbohidrat salah satunya produk turunan tepung. Pemanfaatan sorgum menjadi tepung dinilai mampu meningkatkan kegunaan dan daya simpan sorgum. Namun, dalam pemanfaatannya masih terbatas, karena keberadaan senyawa antinutrisi dan rendahnya daya cerna karbohidrat serta protein. Sorgum mengandung senyawa tanin sekitar 3,67-10,66% yang menyebabkan rasa sepat dan langu. Tanin merupakan senyawa polifenol yang dapat membentuk senyawa kompleks apabila berikatan dengan protein. Pan *et al.* (2023) menyatakan, kandungan tanin pada sorgum mampu menurunkan kandungan protein dan pencernaan. Selain itu, aplikasi tepung sorgum pada produk pangan menghasilkan produk dengan sifat kering, *crumb* cepat keras, dan berpasir (Setiarto *et al.*, 2017).



B. Fermentasi

Fermentasi merupakan suatu cara untuk mengubah sifat kimia substrat menjadi produk yang dikehendaki dengan menggunakan bantuan mikroorganisme (Caesy *et al.*, 2018). Proses ini melibatkan reaksi perombakan senyawa-senyawa organik menjadi senyawa sederhana melalui aktivitas enzimatis, sehingga dihasilkan suatu produk baru yang bermanfaat (Moede *et al.*, 2017). Fermentasi menjadi salah satu metode pengawetan yang murah, mudah, dan ramah lingkungan terutama aplikasinya pada produk berbasis pati. Metode fermentasi terbukti mampu memperbaiki karakteristik fisik, kimia, sensori, serta sifat fungsional produk pangan. Kitessa (2024) menyatakan bahwa fermentasi pada sereal dapat memperbaiki nilai gizi melalui peningkatan protein, asam amino dan lemak esensial, mineral, sekaligus menurunkan senyawa antinutrisi. Kondisi tersebut berdampak positif pada peningkatan daya cerna dan mutu sensoris. Beberapa faktor

yang dapat memengaruhi keberhasilan proses fermentasi, di antaranya pH, suhu, jenis substrat, cemaran mikrobial, waktu, sumber mikroorganisme, dan ketersediaan oksigen (Apriyanto *et al.*, 2021). Berdasarkan sumber mikroorganismenya, fermentasi dikategorikan menjadi spontan tanpa penambahan *starter* maupun terkontrol dengan penambahan *starter* menggunakan kapang, *yeast*, maupun bakteri asam laktat (BAL).

BAL merupakan mikroorganisme gram positif yang tidak membentuk spora, berbentuk kokus atau batang, serta memproduksi asam laktat sebagai komponen metabolit utama (Fauziyah *et al.*, 2023). Kemampuan antimikroba yang dimiliki, terutama melalui produksi senyawa bakteriosin menjadikannya sering dimanfaatkan sebagai kultur fermentasi. Mekanisme kerja fermentasi oleh BAL menghasilkan asam-asam organik melalui penurunan pH, kondisi yang asam tersebut mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Putri & Kusdiyantini, 2018). Nuraida *et al.* (2022) menyatakan, bahwa beberapa strain BAL genus *Lactobacillus* sp. diketahui memiliki efek positif bagi kesehatan dan dikenal sebagai probiotik. Fermentasi menggunakan BAL telah banyak diaplikasikan, khususnya pada produk berbasis pati untuk memodifikasi struktur pati melalui aktivitas enzimatis, terutama enzim amilase dan pululanase yang memutus ikatan glikosidik α -1,4 pada amilosa dan ikatan percabangan α -1,6 pada amilopektin (Naik *et al.*, 2023). Sujithra *et al.* (2019) menyatakan bahwa selama fermentasi, mikroorganisme lain turut menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang merombak dinding sel serta matriks jaringan, sehingga granula pati mengalami pelepasan. Granula pati tersebut kemudian dihidrolisis menjadi gula sederhana dan oligosakarida sebagai substrat pembentukan senyawa organik. Proses fermentasi memengaruhi perubahan fraksi amilosa dan amilopektin, dimana kadar amilosa menurun akibat aktivitas enzim amilase dan amilopektin cenderung mengalami peningkatan sebagaimana dijelaskan oleh (Setiarto & Widhyastuti, 2017). Modifikasi tersebut berdampak pada perubahan sifat fungsional pati, baik melalui peningkatan mutu sensoris maupun profil amilografi.

Bimo-CF merupakan *starter* komersial berbentuk bubuk yang mengandung BAL dan umum digunakan sebagai fermentor ubi kayu dalam bentuk *chips* atau sawut. *Starter* ini aman untuk produk pangan, kaya nutrisi serta diproduksi dengan

teknologi yang menjamin stabilitas dan efektivitas tinggi (Misgiyarta *et al.*, 2009). Fermentasi pati singkong dalam pembuatan mocaf menghasilkan karakteristik tepung berwarna putih, menghilangkan rasa pahit, serta memiliki cita rasa khas. Selain singkong, *starter* ini telah banyak diaplikasikan pada pembuatan tepung lain seperti tepung beras, tepung bonggol pisang kepok, dan tepung porang (Aini *et al.* (2024); Cahyadi *et al.* (2024); Nuzuliyanti *et al.* (2025)). Penelitian Ilyasa *et al.* (2024) menunjukkan fermentasi dengan *starter* Bimo-CF 0,1% selama fermentasi 12 jam menghasilkan tepung dengan kadar air rendah dan kandungan pati yang tinggi, yang berkontribusi terhadap stabilitas dan nilai gizi. Sementara, Hadistio *et al.* (2019) melaporkan bahwa fermentasi menggunakan *starter* Bimo-CF 0,1% selama 20 jam menghasilkan tepung dengan warna yang lebih cerah, rasa dan aroma khas, serta memiliki karakteristik dan kualitas pati menyerupai tepung terigu. Peningkatan lama waktu fermentasi turut berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan sensoris tepung. Lebih lanjut, Kurniadi *et al.* (2013) menyatakan fermentasi dapat meningkatkan kadar protein terlarut sekaligus menurunkan kandungan senyawa antinutrisi seperti tanin. Dengan demikian, kombinasi konsentrasi *starter* dan lama fermentasi menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas akhir tepung yang dihasilkan. Temuan-temuan tersebut memperkuat potensi pemanfaatan fermentasi pada bahan berbasis pati selain singkong, termasuk sorgum yang memiliki komponen serupa untuk menghasilkan bahan baku pangan fungsional.

C. Flakes

Flakes merupakan salah satu produk *breakfast cereal* siap santap yang populer di kalangan masyarakat sebagai menu sarapan pagi, karena bersifat praktis dalam penyajiannya. Menurut Gionte *et al.* (2022), *flakes* memiliki karakteristik berbentuk bulat, serpihan tipis, berwarna kuning kecoklatan, serta dikonsumsi secara langsung maupun dengan penambahan susu. *Flakes* memiliki kadar air rendah, sehingga menghasilkan tekstur produk yang renyah (Susanti *et al.*, 2017). Secara umum, *flakes* yang beredar di pasaran terbuat dari bahan tinggi karbohidrat, seperti gandum dan biji jagung yang dikenal sebagai *corn flakes*. Bahan tersebut

dapat berupa biji-bijian utuh maupun dalam bentuk tepung (Perdon *et al.*, 2020). Namun, saat ini pengembangan inovasi produk *flakes* telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan bahan alternatif sumber karbohidrat lainnya, seperti umbi-umbian, kacang-kacangan, maupun sereal lokal. Pemanfaatan bahan baku alternatif pada *flakes* tidak hanya menciptakan karakteristik fisik dan sensoris yang berbeda, melainkan juga meningkatkan nilai fungsional produk serta mendukung upaya diversifikasi pangan lokal. Pengembangan produk *flakes* tidak terbatas pada bahan tinggi karbohidrat, tetapi dapat diperkaya dengan zat gizi lainnya, seperti serat maupun protein (Khairunnisa *et al.*, 2018).

Proses pembuatan *flakes* terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi, proses pencampuran bahan, pemipihan, pencetakan, pengukusan dan pemanggangan (Gozaly *et al.*, 2019). Menurut Matz (1991), prinsip dasar pembuatan sereal *flakes* adalah pengeringan pati yang telah mengalami gelatinisasi. Gelatinisasi pati pada pembuatan *flakes* berlangsung selama proses pengukusan (*steam blanching*). Selama proses gelatinisasi, pati kehilangan struktur kristalinnya, sehingga terjadi penyerapan air, pembengkakan granula pati, dan pelepasan amilosa (Donmez *et al.*, 2021). Akibatnya, terbentuk rongga-rongga udara yang meningkatkan kerenyahan pada produk akhir *flakes* setelah pemanggangan. Menurut Setiaji (2012), suhu yang biasa digunakan pada pemanggangan *flakes* berkisar antara 130-150°C selama 15-30 menit. Berbeda dengan produk roti dan kue yang memerlukan pengembangan volume tinggi, proses pembuatan *flakes* tidak memerlukan bahan dengan kandungan gluten (Octavia *et al.* 2023). Oleh karena itu, diperlukan bahan tambahan yang berperan sebagai pembentuk struktur dan perbaikan tekstur (*tenderizing materials*) seperti margarin, gula, emulsifier serta baking powder dan bahan pengikat yaitu pati, air, dan telur (*binding materials*) (Brigita, 2021).

Berbagai penelitian mengenai pembuatan *flakes* telah banyak dilakukan sebelumnya dengan berbagai macam perlakuan yang berbeda. Variasi perlakuan tersebut meliputi penggunaan jenis tepung, proporsi tepung, serta penambahan bahan pangan lain dalam upaya meningkatkan sifat fungsional produk. Perbedaan perlakuan tersebut akan menghasilkan produk *flakes* dengan karakteristik yang

berbeda pula. Beberapa penelitian terdahulu mengenai pembuatan *flakes* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil penelitian terdahulu pembuatan *flakes*

No.	Perlakuan	Hasil Penelitian	Referensi
1	Pembuatan <i>flakes</i> dengan tepung sorgum yang disubstitusi tepung kacang kedelai dengan rasio F0 (100%:0%), F1 (75%:25%), F2 (50%:50%), F3 (25%:75%), dan F4 (0%:100%)	Perlakuan F4 (0%:100%) menghasilkan karakteristik sensori, tekstur, dan nilai gizi yang dapat diterima oleh panelis.	Kumalasari & Budiati (2024)
2	Pembuatan <i>flakes</i> variasi tepung gandum dan tepung kelapa dengan rasio (100%:0%) hingga (50%:50%)	Penambahan tepung kelapa 30% menghasilkan <i>flakes</i> terbaik dengan kandungan gizi seimbang dan karakteristik sensoris warna kuning kecoklatan, tekstur renyah, dan aroma khas kelapa.	Nurhidayanti <i>et al.</i> (2017)
3	Pembuatan <i>flakes</i> dengan proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tapioka (70:30, 80:20, 90:10) serta lama pengukusan (10, 15, dan 20 menit)	Proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tapioka 80%:20% dan lama pengukusan 20 menit menghasilkan tekstur renyah, kandungan gizi seimbang, serta dapat diterima baik secara sensoris.	Sarofa <i>et al.</i> (2023)
4	Optimasi RTE <i>breakfast cereal flakes</i> dari jagung kuning (70-80%) dan tepung kelapa (20-30%) menggunakan <i>Design expert</i> D-Optimal	Formula optimum diperoleh <i>flakes</i> dengan proporsi 70% jagung kuning dan 30% kelapa, dengan skor tinggi pada seluruh atribut sensoris (rasa, aroma, warna, tekstur dan <i>overall</i>) dan peningkatan nilai gizi setelah pengolahan	Frimpong <i>et al.</i> (2022)
5	Optimasi breakfast meal <i>flakes</i> dari tepung suweg (70-85%) dan stabilized rice bran (15-30%) menggunakan metode respon permukaan	Formula optimum <i>flakes</i> diperoleh proporsi 77,5% tepung suweg dan 22,5% SRB dengan kandungan serat dan antioksidan tinggi, tekstur renyah, dan secara keseluruhan dapat diterima.	Nuriana <i>et al.</i> (2019)

D. Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan tanaman tropis yang termasuk dalam genus *Cocos* dari famili *Arecaceae* atau tanaman palmae. Kelapa dikenal sebagai tanaman multifungsi dan bernilai ekonomi tinggi. Hampir seluruh bagian tanamannya dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari pohon, akar, batang, daun, dan buahnya. Pemanfaatan kelapa telah banyak diaplikasikan pada berbagai sektor, seperti bidang pangan, farmasi, industri, maupun rumah tangga. Daging buah kelapa termasuk salah satu bahan pangan kaya akan protein dan serat pangan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pangan fungsional (Divya *et al.*, 2023). WHO merekomendasikan asupan serat harian bagi orang dewasa sekitar 25 g per hari. Beraneka ragam pengembangan produk dari daging buah kelapa telah dihasilkan, seperti santan, minyak kelapa, dan tepung kelapa (Yulvianti *et al.*, 2015).

Tepung kelapa merupakan tepung bebas gluten yang diproses dari daging kelapa melalui proses pengeringan, penggilingan dan pengayakan. Dalam 100 g BDD, tepung kelapa mengandung 32,13% karbohidrat, 3,88% protein, 33,56% lemak, dan 25,41% serat (Ramya & Pattan, 2019). Tingginya kandungan serat pangan menjadikan tepung kelapa dimanfaatkan sebagai alternatif dalam pengolahan produk *gluten-free*. Serat pangan memiliki berbagai efek fisiologis terhadap kesehatan tubuh, seperti peran dalam pencegahan penyakit obesitas, diabetes, kardiovaskular serta gangguan pada sistem pencernaan. Studi oleh Dayib *et al.* (2020), menyatakan bahwa serat pangan meningkatkan rasa kenyang serta mengurangi asupan makanan pada waktu mendatang. Beberapa penelitian lain menambahkan bahwa kandungan serat yang tinggi berkorelasi dengan rendahnya indeks glikemik, sehingga tidak menyebabkan lonjakan kadar gula darah dalam tubuh (Fernando *et al.*, 2015; Vijayakumar *et al.*, 2018).

Serat pangan memiliki karakteristik fisikokimia yang berperan penting menentukan fungsinya dalam tubuh, seperti water-holding capacity (WHC), water swelling capacity (WSC), oil-holding capacity (OHC), glucose adsorption capacity (GAC), cholesterol adsorption capacity (CAC), dan viscosity (He *et al.*, 2022). Shakeela *et al.* (2024) menyatakan bahwa, karakteristik fisikokimia serat pangan seperti OHC,

WSC, dan WHC memainkan peranan penting dalam pengembangan formulasi produk pangan berbasis bahan pangan tinggi serat. Karakteristik tersebut sangat menentukan tekstur, stabilitas, dan kualitas keseluruhan pada produk pangan, termasuk *flakes*. Pemilihan bahan dengan kadar serat tinggi seperti tepung kelapa menjadi pertimbangan dalam memberikan kontribusi terhadap mutu akhir *flakes*. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan, penambahan tepung kelapa berpengaruh nyata dalam peningkatan kadar serat pangan, tingkat kerenyahan, serta aroma khas kelapa produk akhir *flakes* yang dihasilkan (Frimpong *et al.*, 2022; Nurhidayanti *et al.*, 2017).

E. Bahan Pembuatan *Flakes*

Bahan pembuatan *flakes* memerlukan bahan tambahan terdiri atas beberapa bahan di antaranya tepung tapioka, gula halus, susu skim bubuk, margarin, dan soda kue. Berikut adalah deskripsi dari masing-masing bahan pembuatan *flakes*.

1. Tapioka

Tapioka merupakan pati murni yang diperoleh dari ekstraksi penggilingan singkong dengan kadar pati cukup tinggi sekitar 90% (Sofyani *et al.*, 2019). Pati singkong memiliki kandungan amilopektin yang cukup tinggi sekitar 86% dan amilosa 17% dengan struktur bercabang panjang (Dewi *et al.*, 2023). Di samping itu, tapioka memiliki viskositas puncak tinggi dan waktu gelatinisasi cepat, dimana sifat tersebut menyebabkan tapioka berperan sebagai *gelling agent*, pengental dan pengikat (El-Sayed & Aal-Abdel, 2009). Pemanfaatan tepung tapioka telah diaplikasikan secara luas pada industri pangan, karena ketersediaannya melimpah, biaya rendah, dan memiliki sifat fungsional. Yazid *et al.* (2018) menyebutkan bahwa sifat fungsional amilopektin dalam tapioka, terutama kemampuannya dalam membentuk gel dan meningkatkan viskositas, berperan penting dalam pengembangan struktur fisik produk sereal. Penambahan tapioka pada formulasi *flakes* mampu meningkatkan daya rekat

serta menghasilkan tekstur yang renyah. Penelitian oleh Sarofa *et al.* (2023) melaporkan bahwa peningkatan proporsi tapioka menyebabkan kandungan amilopektin semakin meningkat, dimana amilopektin memiliki kemampuan dalam membentuk rongga-rongga udara (*porous*) yang berkontribusi pada tekstur *flakes* semakin renyah.

2. Gula halus

Gula halus atau *icing sugar* merupakan gula kristal putih dengan ukuran partikel sangat kecil dan mudah larut. Di samping fungsinya sebagai pemanis, gula berfungsi sebagai humektan, memperbaiki tekstur, serta memperbaiki flavor melalui reaksi *maillard* selama pemanggangan (Fennema, 1985; Anggraeni *et al.*, 2017). Sifat higroskopis gula memungkinkan pembentukan ikatan hidrogen dengan air dan mudah larut. Gula halus termasuk dalam gula sukrosa berfungsi sebagai pemanis dengan tingkat kemanisan dan higroskopis lebih tinggi dibanding gula sederhana (Ridhani *et al.*, 2021). Penambahan gula halus dalam pembuatan *flakes* memicu reaksi *maillard* dan karamelisasi selama pemanggangan. Sukrosa yang terkandung dalam gula halus mengalami hidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa akibat suhu tinggi saat pemanggangan, sehingga dihasilkan senyawa aroma khas serta pigmen coklat melanoidin (El Hosry *et al.*, 2025; Hustiany., 2016). Penambahan gula dalam formulasi produk *flakes* mengarahkan pada peningkatan kualitas, namun tetap bergantung pada tujuan fungsional dan sensoris yang diinginkan. Penelitian oleh Pombo-Rodrigues *et al.* (2017) menyatakan, bahwa kandungan gula pada produk *breakfast cereal* komersial mencapai rata-rata 20,8 g dalam 100 g total bahan.

3. Susu bubuk skim

Susu skim adalah bagian susu yang tertinggal sesudah krim diambil sebagian atau seluruhnya (Hasrini & Khoiriyah, 2018). Susu ini mengandung banyak laktosa, protein, mineral, serta vitamin yang tidak larut dalam lemak. Syarat mutu susu bubuk skim memiliki kadar air maks. 5%, kadar lemak maks. 1,5%, dan kadar protein total min. 32% (Badan Standardisasi Nasional, 2015). Kandungan lemak yang rendah pada susu skim bubuk dapat meningkatkan

kestabilan terhadap ketengikan, sehingga menjadikannya pilihan yang tepat untuk diaplikasikan dalam berbagai produk olahan pangan. Penambahan susu skim bubuk dalam produk olahan pangan berperan dalam peningkatan nilai gizi serta memperbaiki karakteristik fisik dan sensoris produk yang dihasilkan. Susu bubuk skim dikenal sebagai sumber utama padatan susu non-lemak kaya akan protein. Kakan *et al.* (2016) melaporkan bahwa penggunaan bahan sumber protein dalam pembuatan produk pemanggangan meningkatkan pembentukan warna coklat pada permukaan (*crust browning*), tekstur remah, serta memperkaya flavor produk. Kandungan laktosa dalam susu dapat berinteraksi dengan protein atau asam amino membentuk senyawa hasil reaksi *maillard* yang berkontribusi terhadap warna, aroma, dan cita rasa produk (Xiang *et al.*, 2021). Studi oleh Kneifel & Seiler (1993), protein susu juga berperan sebagai *water-binding agent* yang mampu memperbaiki struktur, sehingga berkontribusi dalam menghasilkan produk dengan karakteristik kering dan renyah.

4. Margarin

Margarin merupakan produk emulsi dengan tipe emulsi air dalam minyak (*water in oil emulsion*), yang berbentuk semi-padat maupun cair. Produk ini dibuat dari lemak atau minyak nabati sebagai bahan utama, yang telah mengalami perubahan kimia seperti hidrogenasi, interesterefikasi dan proses pemurnian sebagai bahan utama serta mengandung air dan bahan tambahan pangan yang diizinkan (SNI 01-3541-2002). Kandungan lemak dalam minyak tidak kurang dari 80% dan kadar air maksimal 18% serta berasal dari lemak nabati (Ulfa *et al.*, 2017). Margarin seringkali dimanfaatkan sebagai alternatif mentega dengan kenampakan, bau, konsistensi, rasa dan nilai gizi yang serupa. Pemanfaatan margarin telah dikenal luas, terutama sebagai komponen penunjang dalam proses *baking* dan *cooking* untuk meningkatkan cita rasa produk bakery. Lemak menjadi salah satu komponen penting dalam formulasi produk pangan, termasuk pada produk sereal *flakes*. Penambahan lemak berupa margarin berkontribusi dalam memperbaiki warna, rasa, aroma, tekstur, serta kualitas sensorik pada produk hasil pemanggangan (Colla *et al.*, 2018). Lemak berperan sebagai *shortening agents* yang memutus rantai pembentukan gluten, sehingga

produk yang dihasilkan cenderung memiliki tekstur yang rapuh dan renyah (Devi & Khatkar, 2016).

5. Sodium bikarbonat

Sodium bikarbonat atau soda kue merupakan senyawa kimia berbentuk serbuk sebagai pengembang dengan menghasilkan gas karbon dioksida ketika bereaksi dengan asam (Neeharika *et al.*, 2020). Bahan ini banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, karena dapat memperbaiki kualitas fisik dan sensoris. Mekanisme kerja sodium bikarbonat yaitu bereaksi dengan asam dalam adonan menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) yang mengembang saat dipanggang, sehingga menciptakan tekstur ringan, pori-pori halus, dan produk lebih bervolume (Asamoah *et al.*, 2023). Pada pembuatan *flakes*, penambahan bahan pengembang dapat dilakukan untuk mengkondisikan struktur menjadi lebih *porous* melalui pelepasan gas CO_2 selama proses pemanggangan (Yulistiani *et al.*, 2021). Gas akan terperangkap dalam rongga-rongga matriks hasil interaksi pati dan air, sehingga meningkatkan pengembangan adonan dan menghasilkan tekstur *flakes* lebih renyah (Purnamasari & Putri, 2015). Akan tetapi, penggunaan sodium bikarbonat dalam produk pangan memiliki batasan karena dosis yang berlebihan dapat menimbulkan terciptanya rasa pahit, bau menyengat, dan penurunan kualitas sensoris. Agustia *et al.* (2019) menyatakan bahwa penggunaan bahan perenyah dalam formulasi produk *flakes* berkisar antara 0,5% - 2,0%.

F. *Design expert* D-Optimal

Design expert merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan percobaan (*Design of Experiment*) untuk menentukan kondisi optimum dalam pengembangan desain proses maupun formulasi produk secara sistematis. *Design expert* menyediakan beberapa pilihan desain rancangan statistik dalam proses optimasi, antara lain:

1. *Factorial Design*, digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memberikan pengaruh terhadap proses maupun formulasi produk dalam suatu percobaan sebagai upaya peningkatan.
2. *Response Surface Methodology* (RSM), digunakan untuk menentukan kondisi optimum dalam optimasi proses, dengan mengevaluasi faktor yang diujikan terhadap respon yang akan diamati. Dalam RSM terdapat dua desain yaitu *Central Composite Design* (CCD) dan *Box-Behnken Design* (BBD).
3. *Mixture Design*, digunakan untuk menentukan formula optimum dari suatu campuran bahan, dengan ketentuan total proporsi seluruh komponen dalam campuran berjumlah 1 (100 %). Dalam mixture design terdapat tiga desain, meliputi *Simplex Lattice Design* (SLD), *Screening Design*, dan *Optimal (Custom) Design*.
4. *Combined Design*, digunakan untuk mengetahui pengaruh kombinasi variabel proses dan variabel komposisi dalam suatu desain pada optimasi proses dan formulasi produk.

D-Optimal merupakan metode optimasi dalam *mixture design* untuk menentukan formula optimum suatu campuran terhadap respon yang diamati (Wanyonyi *et al.*, 2021). Metode ini efisien karena mampu meminimalkan jumlah kombinasi perlakuan tanpa mengurangi informasi yang representatif, sehingga cocok diaplikasikan dalam kondisi jumlah run, waktu, maupun bahan yang terbatas. Salah satu keunggulan *Design expert* dengan metode D-optimal yakni kemampuan dalam pengolahan data yang cepat dan akurat, dengan tingkat ketelitian numerik mencapai 0,001 dalam menentukan model matematika yang sesuai untuk optimasi (Kahfi *et al.*, 2021). Program ini memberikan rekomendasi pemilihan model yang sesuai berdasarkan nilai F dan koefisien determinasi R^2 dari data respon yang diinput dalam rancangan percobaan. Formula optimal ditentukan berdasarkan analisis terhadap respon dan program akan menyajikan solusi formulasi terbaik. Di samping itu, program ini telah dilengkapi dengan berbagai fitur analisis ANOVA, *fit summary*, serta evaluasi model yang dapat meningkatkan efisiensi waktu.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Tahap modifikasi tepung sorgum, pembuatan flakes, karakterisasi sifat fisikokimia dan sensori dilakukan di Laboratorium Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman; sedangkan analisis respon hardness tahap optimasi serta verifikasi dan validasi dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Pangan dan Penelitian dilaksanakan selama 9 bulan dari bulan Oktober 2024 hingga bulan Juli 2025.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sorgum varietas super 1 yang diperoleh dari BPSIT Serealia Sulawesi Selatan, *starter* Bimo-CF (mengandung *Lactobacillus* sp.) dari Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, asam sitrat dan tepung kelapa (*Nucifera*) yang diperoleh dari toko bahan pangan organik. Bahan tambahan berupa gula halus Kis, tepung tapioka Pak Tani Gunung, susu skim bubuk Indoprima, margarin Palmia, ovalet Sponge-28, garam Cap Daun, soda kue Asahi, vanili bubuk Cap Mobil, dan STPP yang diperoleh dari toko bahan roti di Purwokerto. Adapun bahan analisis yang digunakan adalah susu UHT, *petroleum benzene*, kertas saring, aquades, Na_2CO_3 10%, NaOH 0,5 N, $CuSO_4$ 1%, kalium natrium tatarat 2%, folin 2 N, bovine serum albumin, amilosa murni, etanol 95%, NaOH 1 N, asam asetat 1 N, HCl 25%, *buffer phosphat* pH 7, enzim alpha amilase, enzim beta amilase, katalisator protein, H_2SO_4 , NaOH 40%, asam borat 4%, HCl 0,1 N, indikator *methyl red*, HCl 1 N, enzim pepsin 1%, dan aseton.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya peralatan untuk pembuatan tepung sorgum termodifikasi dan *flakes* yang meliputi baskom, loyang, gelas takar, timbangan digital, *cabinet dryer*, *disk mill*, ayakan 80 *mesh*, wajan, spatula, *mixer*, sendok, panci pengukus, termometer, kompor, *stopwatch*, *rolling pin*, cetakan, dan oven. Adapun peralatan analisis yang digunakan pada penelitian ini di antaranya *Rapid Visco Analyzer*, *texture analyzer (TA-XT Plus)*, kalorimeter (*"PARR" Calorimeter 1341*), digital thermometer (*"PARR" Digital Thermometer 6775*), cawan porselen, oven (*Memert 854 Schwabach*), desikator, timbangan analitik, kompor listrik, waterbath, Soxhlet, labu lemak, labu Kjeldahl, labu destilasi, kondensor, tanur, spektrofotometer UV-Vis, dan peralatan gelas kimia.

C. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Mixture Design* menggunakan *software Design expert v.13* dan rancangan percobaan *D-Optimal* yang dimodifikasi berdasarkan penelitian Frimpong *et al.* (2022). Faktor yang dikaji adalah proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa dalam formulasi *flakes*. Dalam penelitian ini, *software Design expert v.13* digunakan sebagai alat utama untuk memperoleh kombinasi formula optimal dari proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa.

1. Perancangan

a. Penentuan faktor dan respon

Faktor yang diujikan pada penelitian ini yaitu proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa dalam formulasi *flakes*. Respon yang menjadi fokus pada penelitian ini didasarkan pada penelitian terdahulu oleh Gozaly *et al.* (2019) dan Nuriana *et al.* (2019) yang meliputi *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu.

b. Penentuan batas atas dan batas bawah

Penentuan batas untuk faktor proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa didasarkan dengan mempertimbangkan karakteristik fungsional masing-masing bahan. Penetapan batas atas dan batas bawah didasarkan pada penelitian pendahuluan dan studi literatur Frimpong *et al.* (2022), dimana batas tersebut menghasilkan *flakes* dengan struktur fisik optimal serta memiliki tingkat penerimaan sensoris yang baik. Batas atas dan batas bawah dari tepung sorgum termodifikasi adalah 40%-50%, sedangkan untuk tepung kelapa yaitu 5%-15% yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas atas dan batas bawah faktor yang diamati

Faktor	Unit	Low	High
Tepung Sorgum Termodifikasi	%	40	50
Tepung Kelapa	%	5	15

Sumber: *Software Design expert v.13*

c. Rancangan percobaan

Rancangan percobaan dilakukan dengan cara menginput batas atas dan batas bawah setiap komponen, sehingga diperoleh 13 kombinasi perlakuan rekomendasi *Software Design expert v.13* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi perlakuan berdasarkan *Design expert*

Run	Faktor 1	Faktor 2
	Tepung Sorgum Termodifikasi (%)	Tepung Kelapa (%)
1	50	5
2	40	15
3	40	15
4	45	10
5	45	10
6	47.5	7.5
7	50	5
8	50	5
9	42.5	12.5
10	40	15
11	45	10
12	40	15
13	50	5

Sumber: *Software Design expert v.13*

2. Analisis Model Respon

Prediksi hubungan antara faktor dan respon penelitian metode *mixture D-Optimal* direpresentasikan melalui sebuah model. Menurut Hidayat *et al.* (2021), model prediktor pada *software Design expert* meliputi *linear*, *quadratic*, *cubic*, dan *quartic*. Respon setiap perlakuan dilakukan analisis dan verifikasi menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) untuk menentukan signifikansi data respon setiap variabel dan mengetahui model yang disarankan. Hasil pengujian ANOVA dinyatakan diterima apabila *p-value* model menunjukkan signifikansi dan *Lack of Fit* tidak signifikan. Nilai *Lack of Fit* yang tidak signifikan menunjukkan terdapat kesesuaian antara data respon dan model (Ramadhani *et al.*, 2017). Pada bagian *fit statistics*, selisih antara nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* harus kurang dari 0,2 serta nilai *adeq precision* harus lebih dari 4. Selanjutnya, dilakukan analisis plot normalitas untuk mengevaluasi selisih antara nilai respon aktual dan nilai respon prediksi. Pola penyebaran data yang membentuk garis lurus menunjukkan bahwa data tersebut memenuhi asumsi normalitas (Heryana, 2023).

3. Optimasi

Optimasi menggunakan *Mixture Design* rancangan *D-Optimal*, melalui penetapan target optimasi dan tingkat kepentingan. Faktor tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa dipilih target “*in range*”, karena nilai yang dianalisis berada pada rentang batas atas dan batas bawah. Respon *hardness* dan daya rehidrasi memiliki target “*in range*”, karena kedua respon tersebut diharapkan menghasilkan tekstur renyah serta kemampuan rehidrasi yang seimbang. Respon ketahanan renyah dalam susu memiliki target “*maximize*”, karena berkorelasi dengan penerimaan konsumen terhadap tekstur produk saat disajikan dengan susu, sesuai dengan cara umum penyajian produk *flakes*. Target *in range* membatasi variabel atau respon agar berada dalam rentang batas minimum dan maksimum. Sementara itu, target *maximize* mengoptimalkan variabel atau respon guna memperoleh nilai tertinggi dalam batas yang ditetapkan. Adapun tingkat kepentingan untuk *hardness* dan daya rehidrasi (+++), sedangkan ketahanan renyah dalam susu (+++++). Tahap

optimasi menghasilkan satu formula optimum menurut software *Design expert v.13* dengan nilai *desirability* mendekati 1 dan keterangan *selected* (Hidayat *et al.*, 2021). Komponen yang dioptimasi, nilai target dan *importance* yang diolah menggunakan *Design expert v.13* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria dan tingkat kepentingan variabel dan respon optimasi

Variabel/Respon	Target	Importance
Tepung sorgum termodifikasi	<i>In range</i>	3 (+++)
Tepung kelapa	<i>In range</i>	3 (+++)
<i>Hardness</i>	<i>In range</i>	3 (+++)
Daya rehidrasi	<i>In range</i>	3 (+++)
Ketahanan renyah dalam susu	<i>Maximize</i>	5 (+++++)

Keterangan: + = tidak penting; ++ = kurang penting; +++ = agak penting; ++++ = penting; +++++ = sangat penting

4. Verifikasi dan Validasi

Verifikasi bertujuan membuktikan kesesuaian antara prediksi nilai respon hasil optimasi dari software *Design expert v.13* dengan data aktual penelitian (Fatmawati *et al.*, 2021). Verifikasi dilakukan dengan pembuatan *flakes* formula optimum tiga kali pengulangan mengacu pada penelitian Rahmawati *et al.* (2025) untuk memastikan bahwa nilai prediksi model sesuai dengan data aktual. Sementara itu, tahapan validasi dilakukan untuk memastikan bahwa respon yang diperoleh telah sesuai dengan rekomendasi dari software *Design expert v.13*.

5. Karakterisasi

Karakterisasi bertujuan mengetahui sifat dan karakteristik fisik maupun kimia dari *flakes* sorgum berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa pada kondisi optimum berdasarkan rekomendasi *Design expert v.13*. Variabel karakterisasi yang diamati meliputi kadar air, kadar abu, kadar protein total, kadar lemak, kadar karbohidrat *by difference*, kadar serat pangan, total energi, dan mutu sensori menggunakan uji skoring oleh 20 panelis terlatih serta uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih/

D. Variabel dan Pengukuran

1. Variabel

Variabel yang diamati dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu variabel optimasi dan verifikasi serta variabel karakterisasi. Variabel optimasi dan verifikasi menggunakan respon yang ditetapkan meliputi *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Formula optimum yang diperoleh, dilakukan karakterisasi dengan pengujian sifat kimia meliputi kadar air, kadar abu, kadar protein total, kadar lemak, kadar karbohidrat *by difference*, kadar serat pangan dan total energi serta pengujian sensoris melalui uji skoring oleh 20 panelis terlatih meliputi atribut intensitas warna, tingkat kerenyahan, rasa khas sorgum, aroma kelapa, dan *mouthfeel* dan uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih menilai penerimaan keseluruhan (*overall*).

2. Pengukuran

a. Analisis sifat fisik

1) Profil gelatinisasi dengan *Rapid Visco Analyzer* (Faridah *et al.*, 2014)

Profil gelatinisasi dapat dianalisis dengan menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA). Pengukuran profil gelatinisasi dengan RVA terdapat fase pemanasan dan pendinginan pada pengadukan konstan (160 rpm). Pada fase pemanasan, suspensi tepung yang dibuat dari 3 g sampel tepung ditambahkan 25 g aquades dipanaskan dari suhu 50°C sampai 95°C dengan kecepatan peningkatan suhu sebanyak 6°C/menit. Setelah mencapai suhu 95°C, suhu dipertahankan selama 5 menit. Setelah fase pemanasan selesai, sampel kemudian memasuki fase pendinginan yaitu suhu pasta tepung diturunkan dari 95°C sampai 50°C dengan kecepatan 6°C/menit dan dipertahankan kembali selama 2 menit. Kurva profil gelatinisasi akan dipetakan oleh instrumen RVA sebagai hubungan antara nilai viskositas (cP) pada sumbu y terhadap perubahan suhu selama pemanasan dan pendinginan pada sumbu x.

2) Analisis tekstur (Xu & Kerr, 2012)

Pengujian tekstur *flakes* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan (*hardness*) pada *flakes* menggunakan alat *Stable Micro Systems TA-XT Plus Texture Analyzer* melalui *compression test*. Penelitian oleh Xu & Kerr (2012) menjadi acuan dalam pengaturan instrumen pada analisis *hardness*. Pengujian *hardness flakes* menggunakan *Crisp fracture rig (HDP/CFS)* yang terdiri atas *sample testing* untuk meletakkan sampel dengan bentuk silinder berongga 18 mm dan *ball probe* ukuran 6,325 mm untuk menekan sampel dan kembali ke atas. Adapun kecepatan uji atau test speed yang digunakan yaitu 1.0 mm/s dengan jarak 5 mm. Nilai *hardness* hasil uji *flakes* dinyatakan dalam satuan *gram force* (gf).

3) Analisis daya rehidrasi (Tamtarini & Yuwamti, 2005)

Pengukuran daya rehidrasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan kembali air ke dalam bahan kering atau pati yang telah mengalami gelatinisasi. Tingginya nilai daya rehidrasi pada suatu bahan, menunjukkan semakin singkat waktu yang diperlukan untuk penyerapan air dalam *flakes*. Pengukuran daya rehidrasi dilakukan dengan menimbang ± 2 g flake, direndam dalam 100 mL air selama 2 menit kemudian ditimbang lagi. Nilai rehidrasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Daya rehidrasi (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

A= Berat awal

B= Berat akhir

4) Analisis ketahanan renyah dalam susu (Papunas *et al.*, 2013)

Analisis ketahanan renyah dalam susu dilakukan untuk mengukur daya tahan *flakes* saat disajikan dengan susu cair yang berfokus pada kemampuan *flakes* tetap cukup renyah saat dikonsumsi. Penentuan ketahanan renyah dalam susu dilakukan dengan cara menuangkan 1,5 g *flakes* dalam mangkuk, kemudian ditambahkan 70 mL susu cair dengan suhu ruang. Waktu yang diperlukan *flakes* untuk

dapat bertahan mengapung di permukaan atau hingga teksturnya menjadi tidak cukup renyah dihitung sebagai indikator ketahanan *flakes* dalam susu.

b. Analisis sifat kimia

1) Analisis kadar air metode thermogravimetri (AOAC, 2005)

Prosedur penentuan kadar air menggunakan metode thermogravimetri yaitu cawan porselen dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama ± 1 jam. Cawan didinginkan dalam desikator selama ± 15 menit untuk menghilangkan uap air dan ditimbang sebagai (A). Sampel ditimbang sebanyak 2 g dalam cawan yang telah dikeringkan (B), kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama 5 jam. Sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang cawan beserta sampel sebagai (C). Prosedur ini diulangi hingga diperoleh berat konstan yakni selisih antara penimbangan berturut-turut 0,002 g. Kadar air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

A= Berat cawan kosong (g)

B= Berat cawan + sampel awal (g)

C= Berat cawan + sampel kering (g)

2) Analisis kadar abu metode thermogravimetri (AOAC, 2005)

Prinsip penentuan kadar abu metode thermogravimetri yaitu mengoksidasi zat organik pada suhu tinggi sekitar 500-600°C dan menimbang zat yang tertinggal setelah proses pembakaran tersebut. Prosedur penentuan kadar abu menggunakan metode thermogravimetri yaitu cawan porselen dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama ± 1 jam atau hingga berat cawan konstan. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang sebagai (A). Sampel sebanyak 2 g dimasukkan dalam cawan porselen yang telah diketahui beratnya, kemudian ditimbang sebagai (B). Cawan porselen yang berisi sampel dibakar di atas pembakar sampai tidak berasap,

kemudian cawan beserta sampel diabukan dalam tanur pada suhu 400-600°C selama 4-6 jam hingga diperoleh abu berwarna putih dan beratnya konstan. Sampel yang telah diabukan, didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang sebagai (C). Penentuan kadar abu dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{C-A}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

A= Berat cawan kosong (g)

B= Berat cawan + sampel awal (g)

C= Berat cawan + sampel kering (g)

3) Analisis kadar lemak metode Soxhlet (AOAC, 2005)

Prosedur penentuan kadar lemak menggunakan metode soxhlet yaitu labu lemak dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama 1 jam, lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang. Sampel ditimbang sebanyak 2 g dan dibungkus sampel menggunakan kertas saring. Sampel dikeringkan dalam oven selama 3 jam dan didinginkan selama 15 menit dalam desikator. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi soxhlet yang di atasnya dipasang kondensor, serta labu lemak dipasang di bawahnya. Petroleum benzene dimasukkan dalam tabung ekstraksi soxhlet dan direfluks selama 4-5 jam hingga pelarut turun kembali ke dalam labu lemak. Setelah ekstraksi selesai, pelarut dalam labu lemak didestilasi dan ditampung pada tempat lain. Labu lemak yang berisi hasil ekstraksi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama 30 menit. Labu lemak kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit hingga beratnya konstan, lalu ditimbang dan dicatat beratnya. Penentuan kadar lemak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar lemak (\% bb)} = \frac{C-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Kadar lemak (\% bk)} = \frac{D}{(100-E)} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

A= berat sampel (g)

B= berat labu awal (g)

C= berat labu akhir (g)

D= Kadar lemak (%bb)

E= Kadar air (%bb)

4) Analisis kadar protein total metode kjeldahl (AOAC, 2005)

Prosedur analisis kadar protein total menggunakan metode kjeldahl yaitu ditimbang sebanyak 0,5 g sampel yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam labu kjeldahl 100 mL. Sebanyak 0,7 g katalisator protein ditambahkan, kemudian dilakukan penambahan 3 mL H_2SO_4 pekat ke dalam labu kjeldahl yang telah berisi sampel. Seluruh bahan didestruksi, proses destruksi dilakukan dengan memanaskan larutan pada labu kjeldahl menggunakan kompor listrik hingga mendidih dan berwarna jernih kehijauan. Sampel yang telah didestruksi akan dilakukan destilasi dengan memasukkan hasil destruksi ke dalam labu destilasi dengan diencerkan menggunakan 25 mL aquades, kemudian sebanyak 17 mL NaOH 0,02 N ditambahkan. Sebanyak 4 mL larutan HBO_3 (asam borat) dan 4 tetes indikator *methyl red* ditambahkan pada erlemmeyer 100 mL, letakkan pada ujung kondensor hingga terendam sebelum destilasi dimulai. Kemudian, dilakukan destilasi hingga diperoleh 15 mL destilat dalam erlenmeyer selama ± 10 menit. Destilat yang diperoleh kemudian dititrasi menggunakan larutan standar HCl 0,1 N hingga larutan berubah warnanya menjadi merah muda selama 30 detik dan tidak berubah kembali warnanya. Perhitungan analisis kadar protein total menggunakan metode kjeldahl adalah sebagai berikut.

$$\text{Nitrogen (\%)} = \frac{(V_s - V_b) \times N_{\text{NaOH}} \times FP \times BAN}{W_s \times 1000} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Protein (\%)} = \% \text{Nitrogen} \times Fk \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- Vb = Volume blanko
 Vs = Volume sampel
 N NaOH = Normalitas NaOH
 Fp = Faktor pengenceran
 BAN = Berat Atom Nitrogen
 Ws = Berat sampel (g)
 Fk = Faktor konversi

5) Analisis kadar karbohidrat *by difference* (AOAC, 2005)

Penentuan kadar karbohidrat *by difference* dilakukan dengan melakukan analisis kadar air, kadar abu, kadar protein dan kadar lemak terlebih dahulu. Hasil analisis kemudian dijumlahkan dan dikurangkan dengan angka 100% untuk mengetahui kadar karbohidrat. Perhitungan kadar karbohidrat dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Kadar karbohidrat (\%)} = 100\% - (A + B + C + D) \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

- A = Kadar air (%bb)
 B = Kadar abu (%bb)
 C = Kadar lemak (%bb)
 D = Kadar protein (%bb)

6) Analisis kadar amilosa metode iodometri (IRRI, 1971 dalam Apriyantono *et al.*, 1989)

Pada pembuatan kurva standar sebanyak 40 mg amilosa murni ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu tambahkan 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1 N. Tabung reaksi dipanaskan dalam air mendidih sekitar 10 menit sampai semua amilosa membentuk gel. Setelah didinginkan, larutan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 100 mL dan ditepatkan dengan aquades sampai tanda tera. Larutan lalu dipipet masing-masing 1, 2, 3, 4, dan 5 mL ke dalam labu

takar 100 mL, kemudian ditambahkan asam asetat 1 N sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 mL serta 2 mL larutan iod. Larutan kemudian ditepatkan dengan aquades sampai tanda tera, selanjutnya didiamkan selama 20 menit dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm. Kurva standar dibentuk sebagai hubungan antara kadar amilosa (sumbu x) dengan absorbansi (sumbu y).

Sampel sebanyak 100 mg ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu ditambahkan dengan 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1 N. Tabung reaksi kemudian dipanaskan selama 10 menit hingga terbentuk gel atau pati tergelatinisasi. Pasta pati selanjutnya dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan ditepatkan hingga tanda tera dengan aquades. Sampel lalu dipipet sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL, selanjutnya ditambahkan dengan 1 mL asam asetat 1 N, 2 mL larutan iod, dan aquades hingga tanda tera dan didiamkan selama 20 menit, larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm. Kadar amilosa suatu sampel dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Kadar amilosa (\%)} = \frac{A \times FK \times 100}{100 - Ka} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

A= Absorbansi sampel pada 625 nm

FK= Faktor konversi

$$FK = \frac{1}{\text{absorbansi 1 ppm}} \times \frac{1.000 \times 20}{1.000.000}$$

$$= \frac{1}{\text{absorbansi 1 ppm} \times 50}$$

Ka= Kadar air (%)

7) Analisis daya cerna pati (AOAC, 2005)

Analisis daya cerna pati didasarkan pada pengukuran fraksi pati yang dapat dicerna atau dihidrolisis dengan asam menjadi gula sederhana melalui metode hidrolisis asam dan enzimatis. Pada metode hidrolisis asam, sampel ditimbang sebanyak 0,5-1 g dan disuspensikan dalam beaker glass, disaring menggunakan kertas

saring dan dicuci hingga volume filtrat mencapai 250 mL. Filtrat yang mengandung karbohidrat dibuang, sedangkan residu dipindahkan ke erlenmeyer dengan dicuci menggunakan 200 mL air dan 25 mL HCl 25%. Selanjutnya, suspensi ditutup dengan kondensor dan dipanaskan dengan penangas selama 2,5 jam. Setelah didinginkan, suspensi dinetralkan dengan NaOH 1 N dan diencerkan hingga 250 mL, lalu disaring. Filtrat yang diperoleh digunakan untuk penetapan kadar glukosa sebagai gula pereduksi, kemudian dikonversi menjadi kadar pati dengan dikalikan faktor konversi 0,9. Perhitungan adalah sebagai berikut.

$$\text{Kadar pati (\%)} = \frac{X \times fp \times 100 \times fk}{m} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

X= Kadar gula pereduksi

fk= Faktor konversi (0,9)

fp= Faktor pengenceran

m= massa sampel pati (mg)

Sampel sebanyak 0,5 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu ditambahkan dengan 50 mL *buffer phosphat* pH 7. Selanjutnya, ditambahkan 0,1 mL enzim alpha amilase ke dalam erlenmeyer dan panaskan menggunakan penangas air pada suhu 100°C selama 30 menit sambil diaduk sesekali. Enzim beta amilase kemudian ditambahkan ke dalam erlenmeyer sebanyak 0,1 mL dan ditutup untuk diinkubasi dalam waterbath selama 1 jam. Selanjutnya, suspensi disaring menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh dianalisa kadar glukosanya. Kadar pati secara enzimatis ini dapat dihitung dengan berat glukosa dikalikan faktor konversi 0,9. Rumus perhitungan daya cerna pati adalah sebagai berikut.

$$\text{Nilai cerna pati} = \frac{A}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

A= Kadar pati metode enzimatis

B= Kadar pati metode hidrolisis asam

8) Analisis kadar serat pangan (AOAC, 2005)

Penentuan kadar serat pangan diawali dengan sampel ditimbang sebanyak 0,5 g kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Ditambahkan buffer fosfat sebanyak 50 mL dan 0,1 mL enzim alpha amilase, lalu dipanaskan di atas magnetic stirrer dengan suhu 100°C selama 30 menit sambil diaduk. Sampel diangkat dan didinginkan, lalu sebanyak 20 mL aquades, 5 mL HCl 1 N dan 1 mL enzim pepsin 1% ditambahkan, lalu dipanaskan kembali hingga suhu 100°C selama 30 menit. Kemudian, erlenmeyer diangkat dan ditambahkan 5 mL 2NaOH 1 N dan 0,1 mL enzim beta amilase, lalu ditutup gelas erlenmeyer untuk dipanaskan hingga suhu 100°C selama 1 jam. Sampel didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring konstan yang telah diketahui beratnya.

Residu yang terbentuk dicuci dengan etanol 10 mL sebanyak dua kali dan 10 mL aseton sebanyak dua kali. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C semalaman, didinginkan pada desikator lalu ditimbang berat akhir sebagai serat pangan tak larut. Filtrat yang dihasilkan dijadikan 100 mL dan ditambahkan 400 mL etanol 95%, filtrat dibiarkan mengendap selama 1 jam. Selanjutnya, filtrat disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan etanol 10 mL (2 kali) dan 10 mL aseton (2 kali), lalu dikeringkan pada oven suhu 105°C semalam. Kemudian, dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang berat akhir sebagai serat pangan terlarut. Perhitungan serat pangan total berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Serat pangan total} = A + B \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

A= Serat tidak larut

B= Serat terlarut

9) Analisis total energi metode Bomb Calorimeter (Mulyaningsih & Rosida, 2002)

Analisis total energi ditentukan secara adiabatik dengan metode Bomb Calorimeter berdasarkan perubahan temperatur selama

pembakaran sampel. Prosedur analisis total energi diawali dengan sampel ditimbang sebanyak 1 g, sampel dikeringkan apabila masih mengandung air tinggi dan diletakkan pada cawan. Cawan yang telah berisi sampel ditempatkan pada *sample holder* pada konektor bomb. Pada kedua elektroda dipasang kawat nikel krom dengan panjang 10 cm dan dipasang menyentuh sampel. Selanjutnya, masukkan konektor bomb beserta sampel pada tabung bomb yang telah diberi 2 mL aquades, ditutup rapat. Selanjutnya, ditambahkan gas oksigen dalam tabung bomb dengan tekanan 30 atm. Tabung bomb kemudian dimasukan ke dalam kalorimeter, yang telah berisi aquades dengan volume 2 L, pastikan terendam sempurna. Termometer digital melakukan pembacaan dan dicatat suhu awal, selanjutnya sampel dibakar dengan menekan tombol “*Ready to Fire*” hingga mencapai suhu maksimum yang dicatat sebagai suhu akhir. Nilai kalori didasarkan pada kenaikan suhu dalam kalorimeter akibat pembakaran sampel sempurna.

$$E = \frac{(T_2 - T_1) \times W - e_1 - e_2}{m} \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan =

E : Gross Energy (Cal/g)

T₂ : Suhu akhir (°C)

T₁ : Suhu awal (°C)

W : Kesetaraan energi asam benzoat (2426 kal/°C)

m : Massa sampel (g)

e₁ : koreksi panas titrasi asam nitrat (Cal)

e₂ : koreksi panas filamen pembakar (Cal)

- c. Uji sensori (Hunaefi & Ulfah, 2019; Purwati *et al.*, 2024; Rahmadhani & Fibrianto, 2016).

Pengujian sensori dilakukan dengan dua metode, yaitu uji skoring oleh 20 panelis terlatih dan uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih. Pengujian menggunakan pendekatan skala 1-7 yang dihubungkan dengan deskripsi tertentu suatu atribut mutu produk pada uji skoring serta preferensi penerimaan konsumen pada uji hedonik (Garnida, 2020).

Panelis terlatih diperoleh melalui tahapan perekrutan dan pengisian kuesioner, seleksi panelis serta pelatihan panelis. Seleksi panelis terdiri dari uji ambang batas (*threshold*), uji pengenalan aroma dasar, uji segitiga dan uji ranking.

1) Perekrutan dan wawancara

Perekrutan dilakukan terhadap mahasiswa Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Jenderal Soedirman. Calon panelis diseleksi melalui wawancara tulis menggunakan kuesioner mencakup identitas diri calon panelis dan hasil wawancara harus menunjukkan ketersediaan panelis untuk mengikuti tahapan uji dari awal hingga akhir penelitian, memiliki respon positif terhadap *flakes*, memiliki pengetahuan mengenai *flakes*, berada dalam kondisi kesehatan yang baik (tidak mengonsumsi obat, tidak merokok, tidak memiliki gangguan kesehatan atau riwayat penyakit), serta memahami atribut penting dalam produk *flakes*.

2) Seleksi panelis

a) Uji ambang batas (*Threshold test*)

Uji ambang dilakukan menggunakan empat larutan rasa dasar, yaitu manis, asin, asam, dan pahit. Sampel berupa larutan rasa manis dari gula pasir komersial, rasa asam dari larutan asam sitrat murni, rasa asin dari larutan garam (NaCl) komersial, serta rasa pahit dari larutan kafein murni, serta satu sampel blanko (air mineral) yang digunakan sebagai pembanding. Terdapat 10 sampel yang disajikan kepada panelis dengan tingkat konsentrasi yang berbeda-beda, panelis diminta mencicipi untuk menentukan ambang batas dan ambang pengenalan masing-masing sampel. Sampel sebanyak 30 mL dituangkan dalam *cup* plastik yang diberi label kode tiga digit angka. Nilai angka 1 diberikan untuk jawaban yang benar dan nilai angka 0 diberikan untuk jawaban yang salah. Panelis terpilih adalah panelis yang dapat menjawab dengan benar sebanyak 80% dari total sampel yang disediakan.

Konsentrasi tiap bahan yang digunakan dalam uji *Threshold* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Konsentrasi sampel (% b/v) pada uji *threshold*

Set Sampel	Konsentrasi sampel (% b/v)			
	Sukrosa	NaCl	Asam Sitrat	Kafein
1	0,5	0,10	0,010	0,010
2	0,6	0,11	0,015	0,015
3	0,7	0,12	0,020	0,020
4	0,8	0,13	0,025	0,025
5	0,9	0,14	0,030	0,030
6	1,0	0,15	0,035	0,035
7	1,2	0,16	0,040	0,040
8	1,3	0,17	0,045	0,045
9	1,4	0,18	0,050	0,050
10	1,5	0,20	0,055	0,055

b) Uji identifikasi aroma dasar

Uji identifikasi aroma dasar bertujuan untuk mengevaluasi sensitivitas indera penciuman panelis. Pengujian dilakukan dengan menentukan aroma dari berbagai bahan yang bersifat volatil, kemudian mendeskripsikan nama produk yang menimbulkan kesan tersebut. Pengujian aroma dasar dilakukan menggunakan dua jenis essens, yakni essens cair dan essens padat. Masing-masing essens diletakkan dalam gelas yang ditutup dengan kain kasa dan diberi kode acak tiga digit. Untuk essens cair, ditetaskan sebanyak 3 tetes pada kapas lalu dimasukkan ke dalam gelas. Panelis diminta mencium aroma yang muncul dan mendeskripsikan aroma yang terdeteksi. Nilai 2 diberikan untuk jawaban dan deskripsi benar, nilai 1 untuk jawaban benar namun deskripsi salah, serta nilai 0 untuk jawaban dan deskripsi salah.

c) Uji segitiga

Uji segitiga bertujuan untuk mengetahui kemampuan panelis dalam mendeteksi perbedaan sifat sensori antar sampel dengan intensitas berbeda. Panelis diminta untuk mengidentifikasi satu sampel berbeda dari tiga sampel yang disajikan. Uji segitiga tidak memerlukan pembandingan antara sampel satu dengan lainnya, namun hanya diperlukan penilaian

apakah produk tersebut terdapat perbedaan atau tidak. Pada penelitian ini, uji segitiga menggunakan 2 sampel dari formula yang sama dan 1 sampel dari formula yang berbeda, dimana pada bagian luar kemasan diberi kode acak tiga digit. Penilaian diberikan nilai 1 untuk jawaban benar dan nilai 0 untuk jawaban salah.

3) Pelatihan panelis

Panelis yang telah melalui beberapa tahapan seleksi akan dilakukan pelatihan untuk melatih kepekaan dan konsistensi penilaian panelis dalam mengenali karakteristik dari sampel yang diujikan. Pelatihan panelis diawali dengan pelaksanaan *Focus Group Discussion* (FGD), pengenalan karakteristik sensori yang terdapat pada produk pengujian, pelatihan penggunaan skala, pelatihan dalam menilai intensitas atribut, serta uji ranking intensitas. Pelatihan ini dilaksanakan secara teratur dan berkala agar panelis memiliki kepekaan yang konsisten atau meningkat dibandingkan dengan pada saat awal seleksi. Panelis yang lolos seluruh tahapan seleksi dan mengikuti pelatihan dinyatakan sebagai panelis terlatih.

Pengujian sensori formula optimum pada tahap karakterisasi, dilakukan menggunakan uji skoring dengan pendekatan skala 1-7. Penyajian formula optimum dilakukan pada kemasan plastik klip dengan kode acak tiga angka. Pengujian sensori dilakukan oleh 20 panelis terlatih meliputi warna, tekstur (tingkat kerenyahan), rasa khas sorgum (*sorghum-like paste*), aroma kelapa, dan *mouthfeel*. Sementara itu, uji hedonik diikuti oleh 40 panelis tidak terlatih untuk menilai penerimaan keseluruhan (*overall*). Panelis diminta untuk memberikan penilaian menggunakan skor 1-7. Deskripsi atribut sensori produk *flakes*, skala parameter uji hedonik dan uji skoring dari setiap atribut sensori disajikan pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 6. Deskripsi atribut sensori produk

Atribut Sensori	Deskripsi
Warna	Intensitas warna pada produk <i>flakes</i>
Tekstur	Tingkat kerenyahan pada produk <i>flakes</i>
Rasa	Rasa khas sorgum yang dominan pada produk <i>flakes</i>
Aroma	Aroma khas kelapa harum pada produk <i>flakes</i>
<i>Mouthfeel</i>	Sensasi berpasir setelah mengonsumsi <i>flakes</i>

Tabel 7. Skala penilaian uji hedonik

Skala numerik	Atribut sensori				
	Warna	Tekstur (kenyahan)	Aroma	Rasa	<i>Overall</i>
1	Sangat tidak suka	Sangat tidak suka	Sangat tidak suka	Sangat tidak suka	Sangat tidak suka
2	Tidak suka	Tidak suka	Tidak suka	Tidak suka	Tidak suka
3	Agak tidak suka	Agak tidak suka	Agak tidak suka	Agak tidak suka	Agak tidak suka
4	Netral	Netral	Netral	Netral	Netral
5	Agak suka	Agak suka	Agak suka	Agak suka	Agak suka
6	Suka	Suka	Suka	Suka	Suka
7	Sangat suka	Sangat suka	Sangat suka	Sangat suka	Sangat suka

Tabel 8. Skala penilaian uji skoring

Skala	Atribut Sensori				
	Warna	Tekstur	Rasa khas sorgum	Aroma kelapa	<i>Mouthfeel</i>
1	Kuning pucat	Sangat amat tidak renyah	Sangat amat kuat	Sangat amat tidak kuat	Sangat amat berpasir
2	Kuning muda	Sangat tidak renyah	Sangat kuat	Sangat tidak kuat	Sangat berpasir
3	Kuning	Tidak renyah	Kuat	Tidak kuat	Berpasir
4	Kuning kecokelatan	Agak renyah	Agak kuat	Agak kuat	Agak berpasir
5	Cokelat kekuningan	Renyah	Tidak kuat	Kuat	Tidak berpasir
6	Coklat	Sangat renyah	Sangat tidak kuat	Sangat kuat	Sangat tidak berpasir
7	Coklat tua	Sangat amat renyah	Sangat amat tidak kuat	Sangat amat kuat	Sangat amat tidak berpasir

E. Analisis Data

Nilai signifikansi respon formula *flakes* diolah menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) pada *software Design expert v.13* pada taraf kepercayaan 95%. Formula optimum diperoleh berdasarkan hasil prediksi *software Design expert v.13*, dengan nilai *desirability* tertinggi sebagai indikator optimasi dan keterangan *selected*. Verifikasi dan validasi formula optimum dianalisis dengan *software Design expert v.13*, dengan memasukkan hasil respon dalam fitur *confirmation* dan *point prediction* untuk membandingkan nilai aktual dan nilai prediksi. Data pada tahap karakterisasi dianalisis menggunakan Paired Sample T-Test dan Wilcoxon Test menggunakan *software SPSS* dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

F. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan fokus optimasi formula *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa menggunakan *software Design expert v.13* metode *Mixture D-Optimal*. Secara garis besar, terdapat dua tahap penelitian yakni penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan persiapan alat dan bahan, pembuatan tepung sorgum termodifikasi, serta penentuan formulasi dasar *flakes*. Sementara itu, penelitian utama meliputi optimasi formula *flakes*, verifikasi dan validasi, serta karakterisasi.

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan diawali dengan persiapan alat dan bahan, pembuatan tepung sorgum termodifikasi, penetapan konsentrasi *starter* dan lama waktu fermentasi tepung sorgum, karakterisasi tepung sorgum termodifikasi, dan perancangan formula dasar *flakes* dengan *software Design expert v.13*. Dalam hal ini, proses fermentasi menggunakan biji sorgum yang telah disosoh mengacu pada penelitian Astuti *et al.* (2017) dengan metode fermentasi aerob yang disajikan pada Lampiran 2. Penetapan konsentrasi *starter* dan lama waktu fermentasi mengacu pada penelitian Aini *et al.* (2024) dengan modifikasi yaitu pada konsentrasi 0; 0,1; dan 0,2% dan lama waktu fermentasi 0; 12; 24; 36; dan 48 jam. Berdasarkan hasil *trial* terhadap variasi lama waktu fermentasi yang dicoba, diketahui bahwa fermentasi selama 48 jam telah menunjukkan terjadinya *over fermentation* yang ditandai banyaknya buih yang muncul, terbentuk lendir, dan aroma masam baik selama proses fermentasi maupun setelah penepungan. Sari *et al.* (2020) menyatakan bahwa lama waktu fermentasi berlebihan menyebabkan penurunan jumlah nutrisi, sehingga pertumbuhan mikroorganisme menjadi tidak optimal karena telah memasuki fase stasioner sehingga terjadi kegagalan dalam proses fermentasi.

Pembuatan tepung sorgum termodifikasi diawali dengan sortasi dan pencucian dengan air bersih, selanjutnya sorgum sosoh dilakukan perendaman dalam 1 L larutan asam sitrat 0,1% (b/v) selama 6 jam untuk mencegah

terjadinya browning. Biji sorgum ditiriskan terlebih dahulu, kemudian dilakukan fermentasi menggunakan *starter* Bimo-CF dengan konsentrasi 0; 0,1; dan 0,2% (b/v) ke dalam air. Proses fermentasi dilakukan hingga seluruh biji sorgum terendam atau sekitar 0; 0,1; dan 0,2 g dalam 100 mL air dan diinkubasi pada suhu ruang ($\pm 30^{\circ}\text{C}$) selama 0; 12; 24; 36; dan 48 jam. Sorgum yang telah difermentasi, kemudian dibuang air rendamannya dan dibilas menggunakan air bersih sebelum dikeringkan. Pengeringan sorgum fermentasi menggunakan mesin pengering kabinet dengan suhu 60°C selama 16 jam. Manuhara *et al.* (2016) melaporkan bahwa sorgum yang difermentasi bakteri asam laktat (BAL) diikuti dengan pengeringan pada suhu 60°C menghasilkan tepung dengan viskositas dan *swelling power* yang tinggi. Sorgum selanjutnya digiling kering dengan alat *disk mill* dan diayak menggunakan ayakan 80 *mesh*. Karakterisasi tepung sorgum dilakukan melalui analisis kadar air (AOAC, 2005), kadar abu (AOAC, 2005), kadar lemak (AOAC, 2005), kadar amilosa (IRRI, 1971 dalam Apriyantono *et al.*, 1989), dan profil amilografi menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (Faridah *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian pendahuluan, tepung sorgum termodifikasi yang digunakan dalam formulasi *flakes* dipilih dari perlakuan fermentasi dengan konsentrasi *starter* 0,1% dan lama fermentasi 36 jam, karena menghasilkan tepung dengan karakteristik baik.

Perancangan formula produk *flakes* menjadi tahapan terakhir pada penelitian pendahuluan. *Software Design expert v.13* sebagai alat bantu untuk merancang formula dasar *flakes* dengan metode *Mixture*, karena persentase masing-masing komponen dalam formulasi dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan. Formula optimum yang dirancang terdiri atas dua variabel, yaitu variabel berubah dan variabel tetap yang jika kedua variabel tersebut dijumlahkan hasilnya 1 atau 100% (Hidayat *et al.*, 2021). Penentuan variabel berubah dalam optimasi formula didasarkan pada batas bawah dan batas atas dari setiap komponen yang akan dimasukkan *Software Design expert v.13*. Pada penelitian ini, batas atas dan batas bawah setiap komponen ditetapkan berdasarkan penelitian pendahuluan dengan jumlah 55% dari total bahan, sedangkan bahan penunjang sebagai variabel tetap didasarkan pada penelitian

pendahuluan dan studi literatur penelitian Nuriana *et al.* (2019) dengan jumlah 45% dari total bahan sebagaimana disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Variabel berubah dalam jumlah %

No.	Nama Bahan	Low	High
1.	Tepung sorgum modifikasi	40	50
2.	Tepung ampas kelapa	5	15

Tabel 10. Bahan tambahan (variabel tetap) dalam jumlah %

No.	Nama Bahan	Jumlah (%)
1.	Gula halus	15,6
2.	Tepung tapioka	9
2.	Susu skim bubuk	9
3.	Margarin	6,5
4.	Ovalet	2
5.	Garam	1
6.	Soda kue	1
7.	Vanili	0,5
8.	STPP	0,4
Total		45
Variabel Berubah		55
Total Keseluruhan		100

2. Optimasi Formula

Optimasi formula diawali dengan pembuatan *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa berdasarkan rekomendasi oleh *software Design expert v.13* yang disajikan pada Tabel 3. Rekomendasi yang dihasilkan berfokus pada komponen tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa. Berdasarkan batas minimum dan batas maksimum masing-masing komponen yang telah diinput, diperoleh 13 kombinasi formula produk. Kombinasi formula flakes sebanyak 13 perlakuan dibuat berdasarkan pada penelitian pendahuluan dan penelitian Gozaly *et al.* (2019) dengan modifikasi. Diagram alir proses pembuatan *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa terlampir pada Lampiran 3.

3. Analisa Data

Flakes hasil optimasi dianalisis untuk mengetahui respon optimasinya yang meliputi *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Analisis data respon optimasi diawali dengan penentuan model matematis setiap responnya mengacu pada *Sequential Model Sum of Squares* serta pengujian ketidaksesuaian model (*lack of fit*), *Analysis of Variance* (ANOVA) dan analisis plot normalitas pada *software Design expert v.13*. Penentuan target optimasi dan tingkat kepentingan setiap respon dilakukan hingga diperoleh formula optimum, yang ditandai dengan nilai *desirability* tertinggi dan keterangan *selected*. Selanjutnya, dilakukan verifikasi dan validasi dengan membuat *flakes* berdasarkan formula optimum sebanyak tiga ulangan (Rahmawati *et al.*, 2025), untuk dibuktikan kesesuaian antara prediksi nilai respon optimasi dari *software Design expert v.13* dengan data aktual penelitian berdasarkan *prediction interval* (PI) 95%. Tahap akhir yaitu karakterisasi yang dilakukan dengan sifat kimia (kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein total, kadar karbohidrat *by difference*, kadar serat pangan dan total energi) untuk dibandingkan dengan produk flakes komersial merk X, serta uji sensoris berupa uji skoring oleh 20 panelis terlatih (Intensitas warna, tekstur, rasa khas sorgum, aroma kelapa, dan *mouthfeel*) dan uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih dengan atribut penilaian penerimaan keseluruhan (*overall*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Tepung Sorgum Termodifikasi

Karakterisasi dilakukan terhadap tepung sorgum termodifikasi menggunakan *starter* Bimo-CF (mengandung *Lactobacillus* sp.) dengan konsentrasi 0,1% dan lama fermentasi 36 jam, yang menunjukkan hasil paling mendukung dalam karakteristik fisik dan sensoris, sehingga berpotensi diaplikasikan pada produk pangan.

1. Karakteristik kimia dan amilosa

Tabel 11. Karakteristik kimia dan amilosa tepung sorgum termodifikasi

<i>Starter/ Mikroba</i>	Perlakuan	Air (%bb)	Abu (%bk)	Lemak (%bk)	Amilosa (%)	Sumber
Bimo-CF	Konsentrasi 0,1% (b/v); 36 jam	6,53 ± 0,00	0,15 ± 0,00	1,62 ± 0,00	11,59 ± 0,06	Penelitian ini
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Konsentrasi 6% (b/v); 30 jam	3,14 ± 0,04	1,14 ± 0,03	-	-	Kurniadi <i>et al.</i> (2019)
Spontan	Perendaman sorgum sosoh; 24 jam	8,26 ± 0,14	0,18 ± 0,01	1,93 ± 0,01	23,47 ± 0,16	Antarlina <i>et al.</i> (2021)
<i>L. plantarum</i>	Fermentasi 2% (10 ⁸ CFU/mL, 37°C, 24 jam)	-	-	-	11,85	Setiarto <i>et al.</i> (2018)

Keterangan: Data penelitian ini diperoleh dari rata-rata dua ulangan pada setiap pengujian dengan nilai ± menunjukkan standar deviasi

Tabel 12. Standar codex tepung sorgum (Codex, 1989)

Faktor/Deskripsi	Batas
Kadar air	Maksimum: 15% (basis bahan basah)
Kadar abu	Minimum: 0,9% (basis bahan kering)
	Maksimum: 1,5% (basis bahan kering)
Protein (N x 6,25)	Minimum: 8,5% (basis bahan kering)
Lemak kasar	Minimum: 2,2% (basis bahan kering)
Serat kasar	Maksimum: 1,8% (basis bahan kering)
Kadar tanin	Maksimum: 0,3% (basis bahan kering)
Warna	Rentang: 18-30 unit
Ukuran partikel (Granularitas)	100% tepung harus lolos ayakan dengan dimensi mesh: diameter 0,5 mm untuk tepung “halus” dan diameter 1 mm untuk tepung “sedang”

Kadar air tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 6,53%, sesuai dengan syarat mutu tepung sorgum menurut Codex (1989) (Tabel 12). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Kurniadi *et al.* (2019) pada tepung sorgum termodifikasi *L. plantarum* yaitu 3,97%. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi *starter* dan lamanya fermentasi yang berperan dalam mendegradasi karbohidrat (Cahyadi *et al.*, 2024), dimana penggunaan 2% *L. plantarum* selama 30 jam menghasilkan kadar air lebih rendah dibandingkan 0,1% Bimo-CF selama 36 jam. Konsentrasi *starter* yang tinggi meningkatkan aktivitas enzim dan jumlah mikroba dalam degradasi pati, sehingga air terikat yang dilepaskan lebih banyak, struktur granula menjadi berpori, dan meningkatkan laju penguapan air selama pengeringan (Alfansuri *et al.*, 2023).

Kadar abu tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 0,15%, belum sesuai standar mutu tepung sorgum menurut Codex (1989) (Tabel 12). Sejalan dengan Antarlina *et al.* (2021), yang melaporkan bahwa perlakuan penyosohan, perendaman selama 36 jam serta pengayakan dengan ukuran 80 *mesh* memiliki kadar abu terendah, yaitu sebesar 0,13%. Hasil tersebut konsisten dengan Adebo & Kesa (2023), bahwa sorgum yang telah disosoh memiliki kadar abu lebih rendah dibandingkan biji sorgum utuh akibat hilangnya lapisan aleuron. Perendaman berkontribusi terhadap pelarutan nutrisi, seperti vitamin dan mineral (*leaching*), sehingga menurunkan kandungan mineral granula pati (Kurniadi *et al.*, 2019). Hal tersebut menyebabkan mineral larut bersama air rendaman dan terbuang selama proses pencucian.

Kadar lemak tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 1,62%, belum sesuai standar mutu tepung sorgum menurut Codex (1989) (Tabel 12). Penurunan kadar lemak juga dilaporkan Antarlina *et al.* (2021), dimana penyosohan dapat menurunkan kadar lemak sorgum dari 2,31% menjadi 1,93% akibat hilangnya lapisan luar yang mengandung komponen lemak (Setiarto *et al.*, 2016). Di samping itu, fermentasi menjadi faktor yang memengaruhi penurunan kadar lemak akibat aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan enzim lipolitik untuk memecah trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol (Simwaka *et al.*, 2017). Rendahnya kadar lemak yang dihasilkan pada tepung sorgum termodifikasi diharapkan mampu menjaga kestabilan secara fisik, nutrisi, dan aroma selama penyimpanan.

Kadar amilosa tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 11,59%, serupa dengan hasil Setiarto *et al.* (2018) pada tepung sorgum termodifikasi *L. plantarum* yaitu 11,85% yang meningkat 1,08% dibandingkan tepung sorgum tanpa modifikasi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, dimana Setiarto *et al.* (2018) menggunakan 2% (v/v) *L. plantarum* selama 18 jam, sedangkan penelitian ini menggunakan 0,1% Bimo-CF selama 36 jam. Lamanya waktu fermentasi menyebabkan peningkatan kadar amilosa (Yusra & Putri, 2022). Hal ini berkaitan dengan aktivitas BAL yang menghasilkan enzim amilase dalam hidrolisis pati. Amilosa dihidrolisis oleh enzim amilase pada ikatan α -1,4 menghasilkan amilosa rantai pendek dan gula sederhana, sedangkan hidrolisis pada ikatan α -1,6 amilopektin menghasilkan amilosa linear rantai pendek (Kumari & Mehta, 2022).

2. Profil gelatinisasi tepung sorgum termodifikasi

Profil gelatinisasi (*pasting profile*) menggambarkan perubahan viskositas tepung atau pati selama pemanasan dan pendinginan. Karakteristik tersebut dapat diukur menggunakan instrumen Rapid Visco Analyzer (RVA), yaitu viskometer rotasi dengan sistem pemanasan dan pendinginan untuk menilai stabilitas tepung selama pengolahan. Profil gelatinisasi penting untuk mengidentifikasi karakteristik tepung selama pemanasan dan pendinginan serta mengevaluasi pengaruh bahan dan kondisi proses. Parameter yang diamati meliputi viskositas puncak, viskositas *trough*, viskositas *breakdown*, viskositas akhir, viskositas *setback*, suhu awal gelatinisasi, dan waktu viskositas puncak.

Tabel 13. Profil gelatinisasi tepung sorgum termodifikasi

<i>Starter/ Mikroba</i>	<i>Perlakuan</i>	<i>VP (cP)</i>	<i>VT (cP)</i>	<i>VB (cP)</i>	<i>VA (cP)</i>	<i>VS (cP)</i>	<i>Sumber</i>
Bimo-CF	Kons. 0,1% (b/v); 36 jam	2588,5 ± 48,79	2468 ± 28,28	120,5 ± 20,51	3308,5 ± 45,96	840,5 ± 17,68	Penelitian ini
Ragi roti (<i>Saf-instant</i>)	Kons. 1% (b/b); 24 jam	3172	2600	572	5107	2507	Lembong <i>et al.</i> (2025)
Native	Tanpa modifikasi	147 ± 3,11	-	222 ± 45,00	3690,5 ± 2,59	2234 ± 1,77	Rosidah <i>et al.</i> (2025)
-	Spontan; 72 jam	2621	1502	1119	1972	430	Yusra & Putri (2022)

Keterangan: VP= Viskositas Puncak; VT= Viskositas *Trough*; VB= Viskositas *Breakdown*; VA= Viskositas Akhir; VS= Viskositas *Setback*; ±= standar deviasi dari rata-rata dua ulangan

Viskositas puncak merupakan titik tertinggi viskositas adonan saat pemanasan, terjadi ketika granula pati mengembang maksimal sebelum pecah. Pada suhu gelatinisasi, granula pati mengembang dan terhidrasi akibat pelepasan amilosa, sementara air masuk dalam granula pati melalui proses *leaching*. Aini *et al.* (2016) menyatakan bahwa kondisi maksimum ditandai dengan meningkatnya kejernihan suspensi dan viskositas. Parameter ini menjadi indikator kemudahan pemasakan dan kekuatan adonan akibat gelatinisasi. Viskositas puncak tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 2588,5 cP, lebih rendah dibandingkan temuan Lembong *et al.* (2025) sebesar 3172 cP pada fermentasi 1% (b/b) *yeast* roti selama 24 jam yang meningkat dari 2670 cP pada perlakuan tanpa modifikasi. Namun, waktu fermentasi yang ditingkatkan pada penelitian tersebut justru menurunkan viskositas puncak akibat degradasi pati berlebih. Fermentasi dapat meningkatkan fraksi amilopektin dan kristalinitas melalui pembentukan rantai cabang amilopektin pendek dan teratur sehingga dapat meningkatkan viskositas suspensi, namun fermentasi yang terlalu lama dapat menurunkan viskositas (Mao *et al.*, 2024).

Viskositas *trough* merupakan viskositas minimum yang mengukur ketahanan pasta terhadap kerusakan selama pemanasan (Arukwe & Chinomnso,

2021). Granula pati membengkak hingga mencapai viskositas puncak, kemudian mengalami kerusakan dan melepaskan amilosa sehingga viskositas menurun. Parameter ini mencerminkan kerentanan pati tergelatinisasi terhadap kerusakan atau disintegrasi selama pemanasan lanjut. Viskositas *trough* tepung sorgum termodifikasi penelitian ini sebesar 2468 cP. Temuan ini konsisten dengan Lembong *et al.* (2025) yang melaporkan tepung sorgum hasil fermentasi *yeast* roti memiliki viskositas *trough* 2600 cP, meningkat dari 2217 cP pada perlakuan kontrol, namun menurun seiring bertambahnya waktu fermentasi. Penurunan tersebut disebabkan oleh degradasi dan perubahan struktur molekul pati, sehingga kemampuan hidrasi pada granula pati berkurang dan viskositas menurun (Wei *et al.*, 2022).

Viskositas *breakdown* merupakan penurunan viskositas dari puncak (VP) menuju viskositas terendah (VT) selama pemanasan hingga suhu 95°C, yang menunjukkan kestabilan pasta terhadap proses pemanasan dan tegangan geser. Semakin tinggi viskositas *breakdown*, semakin rendah kemampuan pasta dalam mempertahankan viskositasnya terhadap panas dan tegangan geser (Arukwe & Chinomso, 2021). Tepung sorgum termodifikasi ini memiliki viskositas *breakdown* sebesar 120,5 cP. Nilai tersebut jauh lebih rendah dari hasil penelitian Lembong *et al.* (2025), dimana viskositas *breakdown* yang dihasilkan 572 cP pada 24 jam fermentasi. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh tingginya VP dan VT, dimana nilai viskositas *breakdown* diperoleh dari selisih keduanya. Hasil serupa dilaporkan oleh Astuti *et al.* (2017) pada tepung talas termodifikasi menggunakan *starter* Bimo-CF, dimana lamanya fermentasi berkontribusi terhadap viskositas *breakdown* dan meningkatkan kestabilan pasta terhadap pemanasan. Penurunan tersebut berkaitan dengan meningkatnya kristalinitas, sehingga struktur granula pati relatif lebih stabil (Zhao *et al.*, 2019).

Viskositas akhir merupakan viskositas pasta pati yang terukur setelah pendinginan, yaitu pada akhir *holding* suhu 50°C (Fitriani *et al.*, 2023). Viskositas akhir menggambarkan kemampuan pati membentuk pasta melalui proses pemanasan dan pendinginan, serta ketahanannya terhadap gaya geser selama pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tepung sorgum termodifikasi dari varietas Super memiliki viskositas akhir sebesar 3300,5 cP, lebih rendah dibandingkan tepung sorgum tanpa modifikasi dari varietas yang sama sebesar

3690,5 cP (Rosidah *et al.*, 2025). Sejalan dengan Zhao *et al.* (2019), bahwa fermentasi berpengaruh signifikan terhadap penurunan viskositas akhir pati gandum dari 3336 cP (*native*) menjadi 2457 cP (24 jam fermentasi). Hal tersebut berkaitan dengan peningkatan kristalinitas hasil degradasi pati, yang membuat struktur granula menjadi rapat, sulit mengembang serta retrogradasi amilosa yang terbatas. Retrogradasi pati berperan dalam pembentukan viskositas akhir, namun apabila amilosa yang terbentuk memiliki rantai pendek dengan rendahnya kemampuan berikatan kembali (re-asosiasi), maka viskositas akhir justru menurun (Astuti *et al.*, 2017).

Viskositas *setback* menggambarkan peningkatan viskositas selama pendinginan, yang merefleksikan kecenderungan retrogradasi maupun sineresis pada pasta pati akibat rekristalisasi. Tepung sorgum termodifikasi penelitian ini memiliki viskositas *setback* sebesar 840,5 cP, jauh lebih rendah dibandingkan dengan tepung sorgum tanpa modifikasi dengan varietas yang sama, yaitu 2234 cP (Rosidah *et al.*, 2025). Hal ini berkaitan dengan viskositas akhir yang juga tinggi, karena viskositas *setback* dihitung sebagai selisih viskositas akhir dan viskositas *trough*. Menurut Aini *et al.* (2016), viskositas *setback* yang tinggi menunjukkan retrogradasi pati semakin kuat, sedangkan nilai negatif menunjukkan terjadinya sineresis pasta pati. Selama proses gelatinisasi, amilosa mengalami *leaching* kemudian membentuk struktur molekul yang rapat, sehingga viskositas meningkat yang mencerminkan tingkat retrogradasi pati (Lin *et al.*, 2023). Zhao *et al.* (2019) turut melaporkan bahwa fermentasi spontan pati gandum selama 96 jam berpengaruh signifikan terhadap penurunan viskositas *setback* dari 962 cP (*native*) menjadi 821 cP. Penurunan ini dipengaruhi oleh pH air rendaman yang menjadi asam, dimana kondisi tersebut memicu terjadinya hidrolisis rantai pati yang menyebabkan terbentuk struktur gel yang lemah (Antarlina *et al.*, 2021). Dengan demikian, viskositas *setback* yang rendah menunjukkan kecenderungan retrogradasi pati yang lebih rendah, sehingga gel yang terbentuk lebih stabil.

Tabel 14. Waktu puncak dan suhu pasting tepung sorgum termodifikasi

Jenis <i>starter</i>	Perlakuan	Suhu pasting (°C)	Waktu puncak (menit)	Sumber
Bimo-CF	Kons. 0,1% (b/v); 36 jam Fermentasi	75,13	9,80	Penelitian ini
Spontan	spontan; 72 jam	75	7,13	Yusra & Putri (2022)
<i>Native</i>	Tanpa modifikasi	88,73	-	Rosidah <i>et al.</i> (2025)

Suhu pasting merupakan suhu awal terjadinya peningkatan viskositas pati saat dipanaskan akibat penyerapan air dalam granula pati. Proses tersebut menyebabkan pembengkakan granula yang bersifat *irreversible*, dimana energi kinetik molekul air lebih besar dibandingkan gaya tarik menarik antar molekul pati (Aini *et al.* 2016). Suhu pasting terjadi saat suspensi pati mencapai viskositas maksimum, ditandai dengan granula pati yang mengembang hingga pecah. Suhu pasting tepung sorgum termodifikasi penelitian ini yaitu 75,13°C serupa dengan tepung sorgum termodifikasi spontan oleh Yusra & Putri (2022), namun memiliki nilai lebih rendah dibandingkan tepung sorgum tanpa modifikasi (*native*) oleh Rosidah *et al.* (2025). Penurunan tersebut berkaitan dengan perubahan struktur pati selama fermentasi, dimana granula pati mengembang dan sebagian amilosa (*amorf*) mengalami *leaching* (Aini *et al.*, 2016). Kondisi ini menjadikan pati mudah tergelatinisasi pada suhu lebih rendah. Suhu pasting rendah cenderung menguntungkan, karena membutuhkan energi pemanasan yang rendah sehingga dapat menekan biaya produksi.

Waktu puncak merupakan waktu pasta pati selama pemasakan hingga mencapai viskositas maksimum dan berkorelasi positif dengan suhu awal gelatinisasi. Waktu dan suhu berperan dalam memutus ikatan hidrogen pada amilosa dan amilopektin (Garnida *et al.*, 2019). Waktu puncak tepung sorgum termodifikasi penelitian ini yaitu 9,80 menit, lebih tinggi dibandingkan waktu puncak tepung sorgum termodifikasi spontan selama 72 jam oleh Yusra & Putri (2022) yang juga melaporkan penurunan waktu puncak terjadi seiring lamanya fermentasi. Selama fermentasi, produksi asam laktat dapat menurunkan pH, sementara enzim amilase yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme

menghidrolisis pati, sehingga menyebabkan struktur granula pati berubah dan lebih mudah mengembang serta pecah saat dipanaskan. Akibatnya, waktu puncak menurun, kapasitas penyerapan air dalam pati meningkat dan profil gelatinisasi mengalami perubahan (Widyatmoko *et al.*, 2018).

B. Optimasi Formula

Penelitian utama dilakukan untuk menentukan formula optimum *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa. Perancangan formulasi dilakukan menggunakan program *Design expert v.13* dengan *mixture design* model D-Optimal. Produk *flakes* yang dihasilkan diukur berdasarkan respon optimasi meliputi nilai *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Hasil analisis respon disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil respon *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu

Run	Faktor 1 Tepung Sorgum Termodifikasi (%)	Faktor 2 Tepung Kelapa (%)	<i>Hardness</i> (gf)	Daya Rehidrasi (%)	Ketahanan renyah dalam susu (menit)
1	50,0	5,0	487,05	36,89	7,36
2	40,0	15,0	719,12	31,70	5,16
3	40,0	15,0	909,98	35,96	5,27
4	45,0	10,0	1197,24	55,79	6,12
5	45,0	10,0	1016,94	50,21	6,25
6	47,5	7,50	908,30	48,13	6,56
7	50,0	5,00	651,82	47,12	7,08
8	50,0	5,00	531,63	43,80	7,49
9	42,5	12,5	787,71	45,54	5,58
10	40,0	15,0	652,05	36,92	5,38
11	45,0	10,0	923,49	49,88	6,31
12	40,0	15,0	738,60	33,71	5,42
13	50,0	5,00	529,20	36,50	7,52

Sumber: *Software Design expert v.13*

Data hasil respon yang telah diperoleh, kemudian dianalisis menggunakan *software Design expert v.13* untuk memperoleh model matematis beserta persamaan prediksinya. Ringkasan hasil analisis *mixture design* dengan metode D-Optimal berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Ringkasan hasil analisis *design expert*

Respon	Model matematis	Persamaan	<i>p-value</i>	<i>Lack of Fit</i>	R^2
<i>Hardness</i>	Quadratic	$Y = -11,22281A - 500,35480B + 14,48596AB$	0,0008 (Signifikan)	0,2470 (Tidak signifikan)	0,7602
Daya rehidrasi	Quadratic	$Y = 0,059589A - 19,67125B + 0,545375AB$	0,0002 (Signifikan)	0,8822 (Tidak signifikan)	0,8191
Ketahanan renyah dalam susu	Quadratic	$Y = 0,161356A + 0,189014B - 0,006646AB$	< 0,0001 (Signifikan)	0,3791 (Tidak signifikan)	0,9750

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA), seluruh respon menunjukkan model signifikan dengan $p\text{-value} < 0,05$, yaitu pada respon *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Selain itu, seluruh respon juga menunjukkan *lack of fit* yang tidak signifikan dengan $p\text{-value} > 0,05$, yang mengindikasikan bahwa terdapat kesesuaian antara data respon dengan model matematis yang dihasilkan. Menurut Erawati & Dewi (2022), nilai *lack of fit* merepresentasikan ketidaksesuaian model tidak menunjukkan perbedaan nyata dengan *pure error* (kesalahan/variasi data). Nilai koefisien determinasi (R^2) dari masing-masing respon berada dalam rentang 0,7602 – 0,9750. Koefisien determinasi merupakan besaran statistik yang menunjukkan hubungan antara dua atau lebih variabel bebas terhadap variabel terikat, serta seberapa besar variabel bebas mampu menjelaskan variasi pada variabel terikat (Rady *et al.*, 2021). Nilai koefisien determinasi yang rendah menunjukkan variabel bebas memiliki keterbatasan dalam menjelaskan variabel terikat. Sebaliknya, nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 menunjukkan kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan seluruh informasi yang diperlukan untuk memprediksi variabel terikat secara akurat.

1. *Hardness*

Nilai *hardness* yang diperoleh dari hasil pengukuran berkisar antara 487,05 – 1197,24 gf dengan rata-rata 738,5 gf dan standar deviasi 210,61. Pada pengujian terhadap respon *hardness*, formula F4 menunjukkan nilai *hardness* tertinggi 1197,24 gf, sedangkan nilai *hardness* terendah diperoleh formula F1 487,05 gf. Berdasarkan analisis ragam, diperoleh *p-value* respon *hardness* 0,0008, sehingga hasil analisis ragam menunjukkan model signifikan ($p < 0,05$). Selain itu, diperoleh juga nilai *lack of fit* tidak signifikan sesuai pada Tabel 16 yakni sebesar 0,2470 ($p > 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan mengindikasikan bahwa model kuadratik memiliki kesesuaian yang baik dengan data percobaan, sehingga dianggap bahwa model kuadratik telah sesuai dalam memprediksi respon. Pada persamaan model kuadratik, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) respon *hardness* sebesar 0,7602, sehingga 76,02% variasi nilai *hardness* dapat dijelaskan oleh faktor komposisi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa, sementara 23,98% sisanya dipengaruhi oleh variabel lainnya.

Persamaan model matematika dari optimasi proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa terhadap nilai *hardness flakes* adalah sebagai berikut.

$$Y = -11,22281A - 500,35480B + 14.48596AB$$

Keterangan:

Y = *Hardness* (gf)

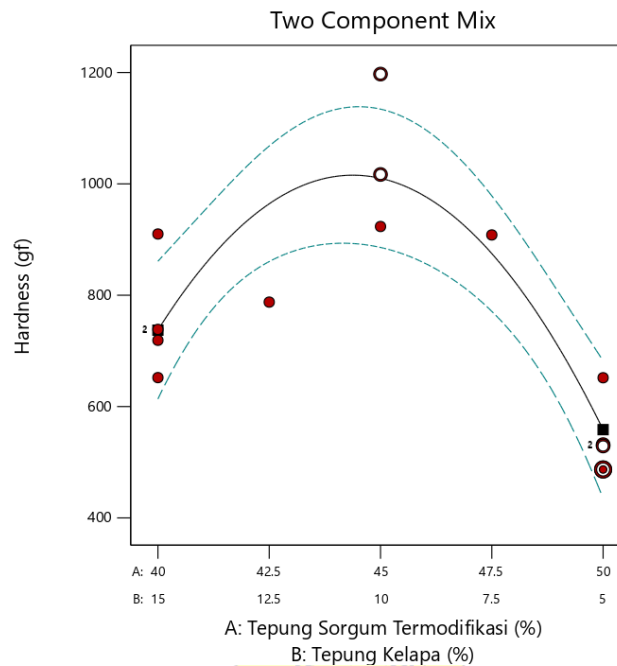
A = Tepung sorgum termodifikasi

B = Tepung kelapa

AB = Tepung sorgum termodifikasi * Tepung kelapa

Persamaan tersebut menunjukkan komponen tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa berbanding terbalik terhadap variabel respon *hardness flakes*. Konstanta negatif pada masing-masing komponen dalam model persamaan mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi komponen secara individu akan menurunkan nilai *hardness* pada *flakes*. Sementara, interaksi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa memiliki nilai

konstanta positif yang berarti kombinasi kedua komponen dalam proporsi tertentu mampu meningkatkan nilai *hardness* produk.



Gambar 1. Model kuadratik 2D respon *hardness*

Grafik model kuadratik 2D respon *hardness* pada Gambar 1 menunjukkan pengaruh interaksi antara tepung sorgum termodifikasi (A) dan tepung kelapa (B) terhadap nilai *hardness flakes* dalam satuan gram-force (Y), yaitu besarnya gaya tekan yang diperlukan untuk deformasi produk (Mahmudah *et al.*, 2017). Titik-titik merah pada grafik menunjukkan data aktual respon *hardness flakes*, yang sebagian besar berada dekat dengan garis hitam sebagai nilai prediksi model. Peningkatan nilai *hardness* terjadi seiring dengan bertambahnya tepung sorgum termodifikasi (A) hingga 45% dan berkurangnya tepung kelapa (B) hingga 10%, yang merupakan titik optimum. Nilai *hardness* tertinggi diperoleh kombinasi proporsi kedua bahan pada titik optimum, sedangkan penambahan atau pengurangan proporsi salah satu komponen melewati titik optimum justru menurunkan nilai *hardness flakes*. Meskipun demikian, interaksi kedua bahan tersebut berkontribusi secara positif dalam peningkatan nilai *hardness flakes*, dengan prediksi yang stabil pada seluruh kombinasi kedua bahan dalam interval kepercayaan 95%,

Temuan ini sejalan dengan penelitian Rahmawati *et al.* (2025), dimana *flakes* berbahan dasar tepung jali termodifikasi *autoclaving-cooling* dan tepung

sorgum menunjukkan nilai *hardness* berkisar 402,98 - 520,09 gf, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi tepung sorgum. Peningkatan ini dipengaruhi oleh kadar pati, amilosa dan amilopektin pada tepung sorgum tinggi yang membentuk struktur kokoh dan keras, sebagaimana dijelaskan oleh Aljobair (2022). Luckett & Wang (2012) turut melaporkan, bahwa kandungan amilosa yang tinggi pada pati jagung Hylon VII ($\pm 70\%$) mampu meningkatkan *peak force* breakfast cereal, yang menunjukkan peningkatan kekerasan pada struktur produk. Peningkatan konsentrasi tepung sorgum termodifikasi berkontribusi terhadap kenaikan nilai *hardness* hingga titik optimum yaitu 45%, namun menurun pada proporsi yang lebih tinggi. Menurut Apostolidis *et al.* (2021), penambahan pati berlebih akan membentuk jaringan semakin padat dan penurunan kemampuan WHC, sehingga tekstur yang dihasilkan lebih rapuh. Penambahan tepung kelapa dalam formulasi juga memengaruhi tekstur; kadar lemak yang tinggi mampu menutupi granula pati, sehingga nilai *hardness* menjadi menurun (Susanti *et al.*, 2017).

2. Daya Rehidrasi

Nilai daya rehidrasi yang diperoleh dari hasil pengukuran berkisar antara 31,70 – 55,79% dengan rata-rata 43,80% dan standar deviasi 7,582. Pengujian terhadap respon daya rehidrasi sampel *flakes*, formula F4 menunjukkan nilai daya rehidrasi 55,79%, sedangkan nilai daya rehidrasi terendah diperoleh pada formula F2 sebesar 31,70%. Berdasarkan analisis ragam, diperoleh *p-value* respon daya rehidrasi 0,0002, sehingga hasil analisis ragam menunjukkan model signifikan ($p < 0,05$). Selain itu, diperoleh nilai *lack of fit* tidak signifikan sebesar 0,8822 ($p > 0,05$) yang mengindikasikan bahwa model kuadratik memiliki kesesuaian baik dengan data percobaan, sehingga model dianggap telah sesuai dalam memprediksi respon. Pada persamaan model kuadratik, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) respon daya rehidrasi sebesar 0,8191. Hal ini menunjukkan bahwa sebesar 81,91% variasi nilai daya rehidrasi dapat dijelaskan oleh faktor komposisi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa, sementara 18,09% sisanya dipengaruhi oleh variabel lain.

Persamaan model matematika dari optimasi proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa terhadap nilai daya rehidrasi *flakes* sebagai berikut.

$$Y = 0,059589A - 19,67125B + 0,545375AB$$

Keterangan:

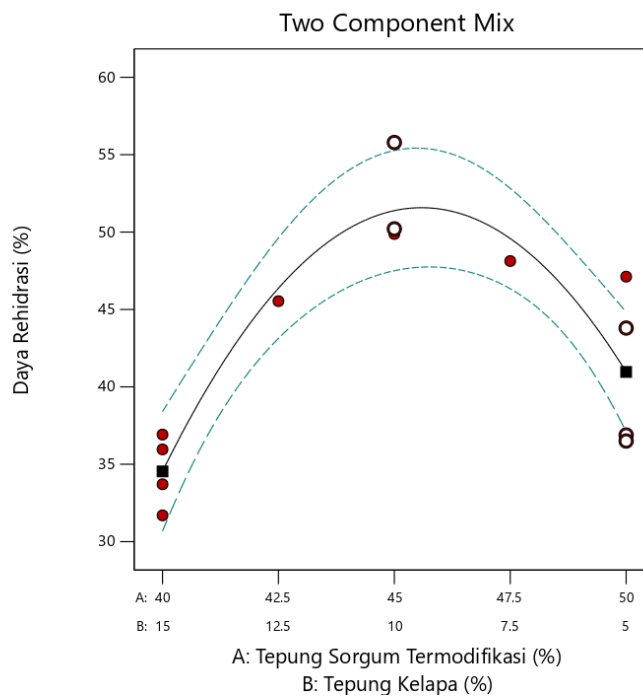
Y = Daya rehidrasi (%)

A = Tepung sorgum termodifikasi

B = Tepung kelapa

AB = Tepung sorgum termodifikasi * Tepung kelapa

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tepung sorgum termodifikasi mampu memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan nilai daya rehidrasi pada *flakes*, dimana semakin tinggi proporsinya maka daya rehidrasi mengalami peningkatan. Sebaliknya, tepung kelapa justru memberikan pengaruh negatif terhadap peningkatan daya rehidrasi, artinya semakin tinggi proporsi tepung kelapa dalam formulasi *flakes* justru menurunkan nilai daya rehidrasi *flakes*. Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor A dan B memberikan pengaruh yang berlawanan terhadap variabel respon daya rehidrasi. Akan tetapi, interaksi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa memiliki nilai konstanta positif yang berarti kombinasi kedua komponen dalam proporsi tertentu mampu meningkatkan daya rehidrasi produk. Keseimbangan proporsi bahan berperan penting dalam menentukan kualitas hasil akhir *flakes*.



Gambar 2. Model kuadratik 2D respon daya rehidrasi

Grafik model kuadratik 2D respon daya rehidrasi pada Gambar 2 menunjukkan pengaruh interaksi antara tepung sorgum termodifikasi (A) dan tepung kelapa (B) terhadap nilai daya rehidrasi dalam satuan persen (Y), yaitu banyaknya air atau cairan yang terserap oleh bahan kering. Menurut Susanti *et al.* (2017), tingginya nilai daya rehidrasi menunjukkan produk cepat lunak dalam cairan, sedangkan daya rehidrasi rendah menunjukkan produk tidak mudah lunak saat dikonsumsi dengan susu. Garis hitam menunjukkan hubungan antara persentase komponen campuran dengan daya rehidrasi, dengan garis putus-putus biru sebagai interval kepercayaan 95% (CI) dan titik-titik merah sebagai data aktual respon. Grafik di atas memiliki bentuk melengkung ke bawah (*concave down*), yang menunjukkan hubungan antara proporsi komponen dan daya rehidrasi bersifat non-linear. Titik optimum dicapai pada proporsi 45% tepung sorgum termodifikasi dan 10% tepung kelapa, dengan daya rehidrasi tertinggi. Setelah melewati titik optimum, peningkatan atau penurunan variabel independen menurunkan respon daya rehidrasi, diketahui adanya perubahan sifat fisik dan fungsional matriks produk.

Nilai daya rehidrasi pada penelitian ini sejalan dengan Sabilla & Murtini (2020), yang melaporkan daya rehidrasi *flakes* antara 36,70-61,67%, dengan tren penurunan seiring meningkatnya tepung beras dan berkurangnya tepung ampas kelapa. Hal tersebut dipengaruhi oleh komponen penyusun utamanya yaitu serat dan pati. Serat pangan dengan struktur berpori dan gugus hidrofilik memiliki kemampuan WHC tinggi yang mempercepat penyerapan air, sedangkan amilopektin dengan struktur bercabang justru menghambat penyerapan air (Liu *et al.*, 2024; Thilakarathna *et al.*, 2017). Menurut Paramita & Putri (2015), semakin besar komponen serat akan meningkatkan daya rehidrasi pada produk akhir *flakes*. Kecenderungan tersebut konsisten dengan penelitian ini yang memanfaatkan pati pada tepung sorgum dan serat pada tepung kelapa. Namun, berbeda dengan Sarofa *et al.* (2023), yang melaporkan *flakes* memiliki daya rehidrasi berkisar 92,092-134,975%. Perbedaan tersebut dipengaruhi adanya variasi waktu pengukusan 10-20 menit, dimana semakin lama waktu pengukusan akan meningkatkan nilai daya rehidrasi pada *flakes*.

3. Ketahanan renyah dalam susu

Nilai ketahanan renyah yang diperoleh berkisar 5,16 – 7,52 menit dengan rata-rata 6,25 menit dan standar deviasi 0,877. Formula F13 menunjukkan ketahanan renyah dalam susu tertinggi yaitu 7,52 menit, sedangkan ketahanan renyah dalam susu terendah diperoleh pada formula F2 yaitu 5,16 menit. Berdasarkan analisis ragam, diperoleh *p-value* pada respon ketahanan renyah dalam susu $<0,0001$, sehingga hasil analisis ragam menunjukkan model signifikan ($p < 0,05$). Selain itu, diperoleh nilai *lack of fit* tidak signifikan sesuai pada Tabel 16 sebesar 0,3791 ($p > 0,05$). Nilai *lack of fit* yang tidak signifikan mengindikasikan bahwa model kuadratik sesuai dengan data percobaan, sehingga model kuadratik yang digunakan telah sesuai dalam memprediksi respon. Pada persamaan model kuadratik, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) pada respon ketahanan renyah dalam susu sebesar 0,9750. Hal ini menunjukkan sebesar 97,50% variasi nilai ketahanan renyah dalam susu dapat dijelaskan oleh faktor komposisi tepung sorgum

termodifikasi dan tepung kelapa, sementara 3,27% sisanya dipengaruhi oleh variabel lainnya.

Persamaan model matematika dari optimasi proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa terhadap nilai ketahanan renyah dalam susu produk *flakes* adalah sebagai berikut.

$$Y = 0,161356A + 0,189014B - 0,006646AB$$

Keterangan:

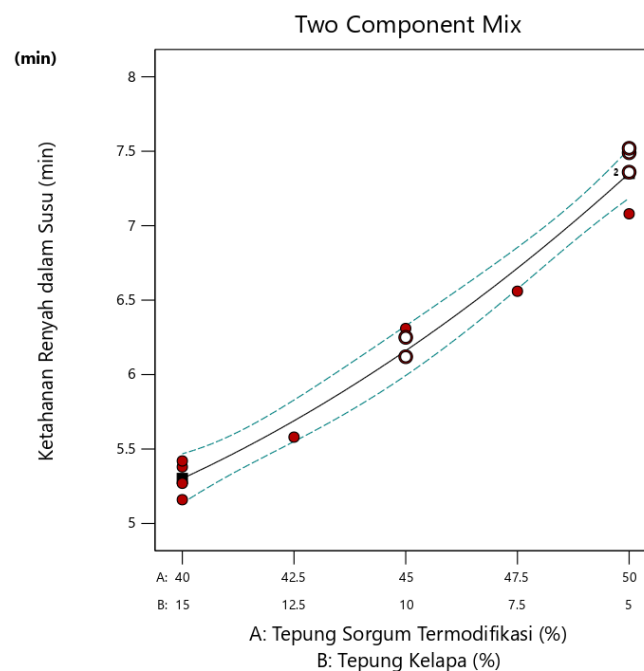
Y = Ketahanan renyah dalam susu (menit)

A = Tepung sorgum termodifikasi

B = Tepung kelapa

AB = Tepung sorgum termodifikasi * Tepung kelapa

Berdasarkan persamaan tersebut, komponen tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa berbanding lurus terhadap variabel respon ketahanan renyah dalam susu pada produk *flakes*. Pada masing-masing komponen diketahui memiliki koefisien positif yang mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi komponen secara individu akan meningkatkan ketahanan renyah *flakes*. Sementara itu, interaksi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa memiliki koefisien negatif yang berarti kombinasi kedua komponen dalam jumlah tertentu justru menurunkan ketahanan renyah *flakes* dalam susu.



Gambar 3. Model kuadratik 2D respon ketahanan renyah dalam susu

Grafik model kuadratik 2D respon ketahanan renyah dalam susu pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh interaksi antara tepung sorgum termodifikasi (A) dan tepung kelapa (B) terhadap nilai ketahanan renyah dalam susu dalam satuan menit (Y), yaitu lamanya waktu *flakes* untuk dapat bertahan hingga teksturnya tidak cukup renyah. Hubungan antara persentase komponen campuran dengan respon daya rehidrasi direpresentasikan oleh garis hitam, dengan garis putus-putus biru sebagai interval kepercayaan 95% (CI) dan titik-titik merah sebagai data aktual respon. Kurva pada grafik tersebut menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai ketahanan renyah *flakes* dalam susu seiring dengan peningkatan tepung sorgum termodifikasi dan penurunan tepung kelapa. Pola kurva menunjukkan adanya sedikit kelengkungan yang mendukung bahwa terdapat kesesuaian model kuadratik, sedangkan titik merah sebagai data aktual secara keseluruhan berada dekat garis hitam yang menunjukkan bahwa prediksi yang dihasilkan stabil.

Hasil ketahanan renyah *flakes* dalam susu pada penelitian ini sejalan dengan Dewi *et al.* (2023), dimana *flakes* tepung keladi alami dan termodifikasi memiliki waktu ketahanan renyah dalam susu 1,08-6,04 menit, meningkat seiring bertambahnya proporsi tepung keladi termodifikasi. Waktu ketahanan renyah *flakes* dalam susu diduga dipengaruhi oleh kandungan pati yang melalui proses retrogradasi, dimana molekul amilosa membentuk struktur mikrokristal yang memengaruhi laju penyerapan air (Gloria *et al.*, 2022). Didukung oleh Reyniers *et al.* (2020), bahwa retrogradasi amilosa berkontribusi terhadap peningkatan kekakuan serta kristalinitas matriks pati, yang dapat menghambat laju penyerapan air. Hasil penelitian ini menunjukkan ketahanan kerenyahan dalam susu yang lebih baik, dengan waktu untuk seluruh perlakuan melebihi 3 menit, sebagaimana dijelaskan oleh Nopiani *et al.* (2023) bahwa *flakes* termasuk makanan instan yang diharapkan memiliki durasi ketahanan renyah lebih dari tiga menit. Dengan demikian, *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa pada formula optimum dapat dikategorikan sebagai produk *breakfast cereal* dengan kualitas yang baik secara fisik.

C. Penentuan Formula Optimum dan Verifikasi Respon

Formula optimum diperoleh sebagai prediksi *software Design expert v.13* rancangan *D-Optimal* berdasarkan analisis respon *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu. Setiap variabel dan respon ditentukan kriteria serta tingkat kepentingan sesuai target optimasi. Kriteria *in range* ditetapkan untuk memastikan proporsi setiap bahan baku berkontribusi secara optimal. Respon *hardness* (487,05 – 1197,24 gf) dan daya rehidrasi (31,7 – 55,79%) dioptimasi dengan kriteria *in range* dan tingkat kepentingan 3 (+++), sedangkan respon ketahanan renyah dalam susu (5,16 – 7,52 menit) dioptimasi dengan kriteria *maximize* dan tingkat kepentingan 5 (+++++). Respon *hardness* dan daya rehidrasi ditargetkan *in range* karena diharapkan kedua parameter tersebut berada dalam rentang yang masih dapat diterima secara fungsional dan sensoris. Sementara itu, respon ketahanan renyah dalam susu ditargetkan maksimal agar formula yang dihasilkan memiliki kemampuan dalam mempertahankan tekstur kerenyahan dalam waktu lebih lama saat disajikan dengan susu. Komponen yang dioptimasi, nilai target, batas dan *importance* yang diolah menggunakan *Design expert v.13* disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17. Komponen respon yang dioptimasi, target, batas, dan *kepetingan*

Variabel/Respon	Target	Batas Bawah	Batas Atas	Importance
Tepung sorgum termodifikasi	<i>In range</i>	40	50	3 (+++)
Tepung kelapa	<i>In range</i>	5	25	3 (+++)
<i>Hardness</i>	<i>In range</i>	487,05	1197,24	3 (+++)
Daya rehidrasi	<i>In range</i>	31,7	55,79	3 (+++)
Ketahanan renyah dalam susu	<i>Maximize</i>	5,16	7,52	5 (+++++)

Keterangan: + = tidak penting; ++ = kurang penting; +++ = agak penting; ++++ = penting; +++++ = sangat penting

Software Design expert v.13 merekomendasikan satu formula dengan nilai *desirability* tertinggi, yang menyatakan tingkat keberhasilan suatu formulasi dalam menghasilkan produk akhir dengan karakteristik yang diharapkan. Semakin mendekati nilai satu, semakin tinggi tingkat kecocokan optimasi dengan nilai yang

diharapkan (Hidayat *et al.*, 2021). Formula terpilih terdiri atas 50% tepung sorgum termodifikasi dan 5% tepung kelapa. Formula ini memiliki nilai *desirability* 0,929 yang artinya formula memiliki kesesuaian respon dan prediksi sebesar 92,9%. Prediksi nilai masing-masing respon dari formula ini yaitu *hardness* sebesar 558,575 gf, daya rehidrasi 40,967%, dan ketahanan renyah dalam susu selama 7,35145 menit.

Selanjutnya, dilakukan verifikasi dan validasi dengan menganalisis formula optimum berdasarkan respon optimasi sebanyak tiga kali ulangan untuk memastikan kesesuaian prediksi model terhadap hasil aktual (Jensen, 2016). Hasil nilai aktual yang diperoleh dibandingkan dengan nilai prediksi oleh software *Design expert v.13* berdasarkan *Prediction Interval* (PI) dengan taraf signifikansi 95%. Apabila hasil verifikasi data berada dalam batas *Prediction Interval* (PI), maka model dianggap valid terhadap prediksi software dan layak diaplikasikan dalam proses produksi. Hasil dari verifikasi formula optimum dibandingkan dengan nilai prediksi disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18. Verifikasi formula optimum dan prediksi respon

Respon	Nilai Prediksi	Nilai aktual $\pm$ SD*	95% <i>Prediction Interval</i>	
			<i>PI low</i>	<i>PI high</i>
<i>Hardness</i> (gf)	558,57	705,67 $\pm$ 112,99	367,74	749,41
Daya Rehidrasi (%)	40,97	40,08 $\pm$ 3,53	35,00	46,93
Ketahanan Renyah dalam Susu	7,35	7,10 $\pm$ 0,15	7,09	7,61

Keterangan: *) SD= Standar Deviasi

Hasil verifikasi formula optimum menunjukkan seluruh respon berada dalam rentang *Prediction Interval* (PI) pada Tabel 18. Hasil verifikasi respon *hardness* diperoleh 705,67 N (PI 367,74 - 749,41), daya rehidrasi 40,08% (35,00 - 46,93), ketahanan renyah dalam susu 7,10 menit (7,09 - 7,61). Verifikasi data menunjukkan bahwa formula optimum yang dihasilkan software *Design expert v.13* mampu memberikan respon yang konsisten terhadap parameter yang ditetapkan. Dengan demikian, respon *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah dalam susu yang diperoleh telah terverifikasi dan dianggap valid.

D. Karakterisasi Formula Optimum

Pada penelitian ini, karakterisasi berfokus pada analisis sifat kimia dan analisis sensoris terhadap formula optimum *flakes*. Hasil analisis sifat kimia dan analisis sensori hedonik dibandingkan dengan *flakes* komersial merk X untuk mengevaluasi kualitas dan penerimaan produk yang dihasilkan.

1. Analisis kimia

Perbandingan hasil analisis kimia antara *flakes* formula optimum dengan *flakes* komersial disajikan pada Tabel 19.

Tabel 19. Hasil analisa kimia *flakes* formula optimum dan *flakes* komersial

No.	Karakteristik	Nilai Rerata (mean $\pm$ SD)		P-value
		Optimum (50% TS : 5% TK)	Komersial (Merk X)	
1.	Kadar air %(b/b)	5,11 $\pm$ 2,23 ^a	3,53 $\pm$ 0,92 ^a	0,399
2.	Kadar abu %(b/k)	2,10 $\pm$ 1,46 ^a	1,75 $\pm$ 1,19 ^a	0,881
3.	Kadar lemak %(b/k)	6,40 $\pm$ 0,03 ^a	0,10 $\pm$ 0,14 ^b	0,012
4.	Kadar protein Total %(b/k)	3,36 $\pm$ 0,20 ^a	2,95 $\pm$ 0,13 ^a	0,329
5.	Kadar Karbohidrat by difference %(b/b)	86,25 $\pm$ 3,64 ^a	91,87 $\pm$ 2,01 ^a	0,394
6.	Total energi (kkal/g)	3,30 $\pm$ 0,17 ^a	4,16 $\pm$ 0,50 ^a	0,320
7.	Serat pangan (%)	9,28 $\pm$ 0,72 ^a	5,67 $\pm$ 0,14 ^a	0,107

Keterangan: TS = tepung sorgum termodifikasi; TK = tepung kelapa; Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$)

a. Kadar air

Kadar air pada *flakes* formula optimum memiliki rata-rata nilai 5,11%, sedangkan *flakes* komersial memiliki rata-rata nilai 3,53%. Hasil uji T kadar air *flakes* formula optimum dan *flakes* komersial ($p > 0,05$) yaitu 0,399 menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan. Kadar air *flakes* formula optimum lebih tinggi 1,58% dari kadar air *flakes*

komersial. Salah satu faktor yang memengaruhi kadar air pada *flakes* adalah komponen penyusun bahan baku. Penambahan tepung kelapa dalam formulasi *flakes* diketahui memberikan pengaruh terhadap kadar air. Serat memiliki sifat mudah menyerap air karena karakteristiknya yang menyerupai *sponge*. Kandungan serat pada tepung sorgum termodifikasi berkisar 1,44% - 1,78% (Seveline *et al.*, 2021), sedangkan kandungan serat pada tepung kelapa cukup tinggi sekitar 25,41% (Ramya & Pattan, 2019). Penelitian oleh Frimpong *et al.* (2022), menyatakan bahwa kadar air dalam *flakes* mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya proporsi tepung kelapa. Temuan lain menyatakan bahwa air yang terikat kuat dalam serat pangan sulit untuk diuapkan kembali walaupun dengan proses pengeringan (Rakhmawati *et al.*, 2014). Tingginya kadar air menjadi keterbatasan dalam produk *flakes* sorgum dengan penambahan tepung kelapa terkait dengan masa simpannya.

b. Kadar abu

Hasil uji kadar abu dari *flakes* formula optimum sebesar 2,10% dan kadar abu dari *flakes* komersial sebesar 1,75%. Hasil uji T kadar abu *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa ($p > 0,05$) yaitu 0,881 menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara kadar abu formula optimum dan *flakes* komersial. Kadar abu *flakes* formula optimum lebih tinggi 0,35% dibandingkan *flakes* komersial. Menurut Nopiani *et al.* (2023), kadar abu produk pangan ditentukan oleh bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatannya. Hasil karakterisasi tepung sorgum termodifikasi menunjukkan bahwa kadar abu yang terkandung sebesar 0,15%. Sementara itu, kadar abu yang terkandung pada tepung kelapa cukup tinggi yaitu sebesar 1,97% (Polii, 2017). Penambahan tepung kelapa dalam formulasi *flakes* mampu meningkatkan kadar abu yang dihasilkan. Abu yang terkandung dalam tepung kelapa terdiri atas mineral Na, K, Ca, Mg, dan Fe. Menurut Nurhidayanti *et al.* (2017), tepung kelapa mengandung mineral dan zat pengotor dalam jumlah tinggi. Di samping itu, kadar abu *flakes* dipengaruhi juga oleh bahan penunjang lainnya seperti air, susu skim

bubuk, margarin, dan garam serta proses pengeringan selama pemanggangan dilakukan. Selama proses pengeringan berlangsung, ikatan molekul air H_2O mengalami penguraian yang berpengaruh terhadap peningkatan kandungan gula, lemak, mineral, sehingga berdampak pada meningkatnya kadar abu (Aisah *et al.*, 2021).

c. Kadar lemak

Hasil uji kadar lemak menunjukkan bahwa kadar lemak *flakes* formula optimum sebesar 6,40% dan *flakes* komersial 0,10%. Hasil uji T kadar lemak *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa antara formula optimum dan *flakes* komersial ($p < 0,05$) yaitu 0,012 yang menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Kadar lemak formula optimum jauh lebih tinggi 6,30% dibandingkan *flakes* komersial, sehingga menjadi pertimbangan dalam evaluasi mutunya. Penambahan tepung kelapa dalam formulasi *flakes* berkontribusi langsung terhadap kadar lemak akhir. Penelitian Nurhidayanti *et al.* (2017) melaporkan bahwa kadar lemak *flakes* berkisar 16,36% - 20,11%, yang konsisten meningkat seiring penambahan tepung kelapa. Lemak yang terkandung dalam tepung kelapa jauh lebih tinggi yaitu 8,21% dibandingkan kandungan lemak pada tepung sorgum termodifikasi (Polii, 2017). Selain itu, tingginya kadar lemak juga turut dipengaruhi oleh penggunaan margarin dalam formulasi *flakes*. Kadar lemak yang terkandung dalam margarin mencapai 80-81% (Weber *et al.*, 2021). Meskipun margarin mengandung lemak yang cukup tinggi, proporsi yang digunakan dalam formulasi *flakes* hanya menyumbang 6,5% dari 100% total bahan. Penambahan bahan dengan kandungan lemak berperan dalam peningkatan total energi serta sifat sensori, sehingga *flakes* lebih renyah dan memiliki cita rasa lebih gurih (Mirratunnisya *et al.*, 2022).

d. Kadar protein total

Hasil uji kadar protein menunjukkan bahwa kadar protein *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa formula optimum sebesar 3,36% dan *flakes* komersial 2,95%. Hasil uji T kadar protein *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung

kelapa antara formula optimum dan *flakes* komersial ($p > 0,05$) yaitu 0,329 yang menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan. Kadar protein total formula optimum jauh lebih tinggi 0,41% dibandingkan *flakes* komersial. Kadar protein dalam *flakes* diketahui dipengaruhi oleh penggunaan bahan baku dengan karakteristik kandungan protein yang berbeda, seperti tepung sorgum dan tepung kelapa. Menurut Ogodo *et al.* (2019), kadar protein yang terkandung dalam tepung sorgum termodifikasi sebesar 13,94%, sedangkan tepung kelapa mengandung kadar protein yang lebih rendah yaitu sebesar 6,27% (Polii, 2017). Penggunaan tepung sorgum termodifikasi dalam pembuatan *flakes* memberikan pengaruh positif dalam peningkatan kadar protein produk akhir *flakes*. Penelitian oleh Sarofa *et al.* (2023) melaporkan bahwa *flakes* tepung sorgum termodifikasi memiliki kadar protein 5,354%-6,642%, dimana nilai tersebut meningkat seiring dengan peningkatan proporsi tepung sorgum termodifikasi. Namun, adanya proses pemanggangan dapat menyebabkan terjadinya denaturasi protein akibat pemanasan yang dapat memicu terjadinya penurunan kadar protein. Denaturasi protein akibat pemanasan mampu menurunkan aktivitas enzim disertai dengan koagulasi, sehingga pada suhu tinggi penurunan nilai gizi protein dapat terjadi akibat kerusakan asam amino esensial (Alifianita & Sofyan, 2022).

e. Kadar karbohidrat

Kadar karbohidrat *flakes* formula optimum sebesar 86,25% dan *flakes* komersial 91,87%. Hasil uji T kadar karbohidrat *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa formula optimum dan *flakes* komersial ($p > 0,05$) yaitu 1,425 yang menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan. *Flakes* formula optimum memiliki kadar karbohidrat yang lebih rendah 5,62% dibandingkan *flakes* komersial. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa kadar karbohidrat pada formula optimum lebih rendah daripada *flakes* komersial yang dijadikan sebagai pembanding. Kandungan karbohidrat tersebut ditentukan oleh perbedaan bahan baku utama yang digunakan, dimana pada formula optimum menggunakan tepung sorgum termodifikasi dan

flakes komersial berbahan dasar jagung. Jagung mengandung karbohidrat yang lebih tinggi dibandingkan sorgum, meskipun perbedaan keduanya tidak begitu jauh. Berdasarkan hasil analisis proksimat oleh Ape *et al.* (2016), jagung mengandung 77,46% karbohidrat, sedangkan sorgum mengandung 76,51% karbohidrat. Komposisi bahan pada *flakes* komersial didominasi oleh jagung sebagai sumber karbohidrat dengan persentase cukup tinggi yaitu 90%. Sementara, *flakes* formula optimum hanya menggunakan 50% tepung sorgum dari total bahan dan sisanya terdiri dari bahan lain seperti tepung kelapa. Kadar karbohidrat akan semakin tinggi seiring dengan penambahan proporsi tepung sorgum dalam formulasi *flakes*. Sorgum mengandung karbohidrat sekitar 72,1 g (USDA, 2024), sedangkan tepung kelapa mengandung karbohidrat sebesar 32,13% (Ramya & Pattan, 2019).

f. Serat pangan total

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa kadar serat pangan total *flakes* formula optimum sebesar 9,28% dan *flakes* komersial 5,67%. Hasil uji T kadar serat pangan total *flakes* formula optimum dan *flakes* komersial 0,107 ($p > 0,05$), menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan. Kadar serat pangan total formula optimum jauh lebih tinggi 3,61% dibandingkan *flakes* komersial. Tingginya kandungan serat pangan total pada *flakes* formula optimum dipengaruhi oleh kandungan serat pada tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa. Dalam 100 g, sorgum mengandung serat sebesar 6,7 g (USDA, 2024), sedangkan tepung kelapa mengandung serat cukup tinggi sebesar 25,41% (Ramya & Pattan, 2019). Berdasarkan Peraturan BPOM Nomor 26 Tahun 2021 tentang nilai gizi pada label pangan olahan, batas minimum serat pangan pada produk sereal siap santap adalah 3%. Flakes formula optimum dengan serat pangan sebesar 9,28% dinyatakan telah memenuhi dan jauh melebihi standar minimum. Takaran saji flakes formula optimum sebesar 30 g mengandung sekitar 2,78 g serat, yang menyumbang 9,3% dari Angka Kecukupan Gizi (AKG) serat harian orang dewasa, sehingga produk ini dapat dikategorikan sebagai produk sereal kaya serat.

g. Total energi

Total energi *flakes* formula optimum sebesar 3,30 kkal/g, lebih rendah dibandingkan *flakes* komersial 4,16 kkal/g dengan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan hasil uji T yaitu 0,320 ($p > 0,05$). Total energi *flakes* formula optimum lebih rendah 0,86 kkal/g dibandingkan *flakes* komersial. Total energi umumnya dihitung berdasarkan kontribusi energi dari makronutrien, seperti karbohidrat, lemak, dan protein (Ghania *et al.*, 2024). Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi produk terhadap kebutuhan energi tubuh, diperlukan membandingkan antara nilai energi dengan Angka Kecukupan Gizi (AKG). Berdasarkan Permenkes No. 28 Tahun 2019, rata-rata angka kecukupan energi sebesar 2100 kkal per orang per hari pada tingkat konsumsi. Menurut CEEREAL (2010), takaran saji untuk produk *flakes* sebanyak 30 g. Produk *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa pada formula optimum memiliki nilai energi sebesar 3,30 kkal/g atau setara dengan 99 kkal per 30 gram produk. Dengan demikian, *flakes* formula optimum memberikan kontribusi sekitar 4,71% terhadap kebutuhan energi harian, apabila dikonsumsi sebanyak 30 g per hari.

2. Uji skoring

Skala penilaian sensori yang digunakan dalam penilaian ini adalah 1-7, yang menunjukkan intensitas atribut dari terendah hingga sangat tinggi. Hasil uji skoring *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa formula optimum disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20. Hasil uji skoring formula optimum

No.	Atribut Sensori	Nilai Rerata (Mean $\pm$ SD)	Keterangan
1.	Intensitas warna	4,40 $\pm$ 0,50	Kuning kecokelatan
2.	Tekstur (Kerenyahan)	5,65 $\pm$ 0,81	Sangat renyah
3.	Rasa khas sorgum	3,95 $\pm$ 1,09	Agak kuat
4.	Aroma kelapa	3,90 $\pm$ 0,97	Agak kuat
5.	<i>Mouthfeel</i>	3,65 $\pm$ 0,49	Agak berpasir

Keterangan: *) SD= Standar Deviasi

a. Warna

Hasil penilaian sensori menggunakan uji skoring atribut warna *flakes* formula optimum dapat dilihat pada Tabel 20. Berdasarkan hasil uji skoring dapat diketahui bahwa warna produk *flakes* diperoleh skor rata-rata 4,40 yang mepresentasikan warna kuning kecokelatan. Warna yang lebih gelap dikarenakan terjadinya reaksi *Maillard* selama proses pemanggangan dan kerusakan termal senyawa fenolik yang terkandung dalam tepung sorgum. Perubahan warna terjadi akibat pembentukan senyawa melanoidin melalui reaksi polimer yang berlangsung pada akhir reaksi *Maillard* (Al-abbasy *et al.*, 2024). Sejalan dengan penelitian Kumalasari & Budiati (2024), yang menyatakan bahwa *flakes* dari tepung sorgum memiliki warna kecokelatan akibat senyawa tanin yang dimilikinya.

b. Tekstur (Kerenyahan)

Hasil penilaian sensori menggunakan uji skoring atribut tekstur *flakes* formula optimum dapat dilihat pada Tabel 20. Berdasarkan hasil uji skoring dapat diketahui bahwa tekstur produk *flakes* diperoleh skor rata-rata 5,65 yang merepresentasikan tekstur renyah hingga sangat renyah. Tekstur produk pangan ditentukan oleh air, lemak, karbohidrat (pati, selulosa, dan pektin), serta protein. Menurut Fathurrizqiah & Panunggal (2015), proporsi pati yang terkandung dalam sorgum yaitu amilosa 21,18-35% dan amilopektin 65-78,8%. Kandungan amilopektin yang cukup tinggi pada tepung sorgum berkontribusi terhadap tekstur akhir *flakes* yang renyah, garing, mudah mengembang, dan berporous (Susanti *et al.*, 2017). Amilopektin memiliki banyak cabang dengan gugus -OH aktif yang mudah menyerap air, sehingga granula pati mudah mengalami pengembangan selama pemanasan (Kong, 2020). Pengembangan granula pati akibat pemanasan akan menguapkan air yang terikat, sehingga terbentuk rongga udara yang menyebabkan tekstur lebih renyah. Sementara itu, serat dalam tepung kelapa juga berpengaruh terhadap pembentukan tekstur akhir *flakes*. Serat memiliki kemampuan dalam mengikat air yang baik (He *et al.*, 2022). Oleh karena itu, penambahan komponen serat dalam

tepung kelapa pada formulasi *flakes* memberikan kontribusi terhadap tekstur akhir *flakes* yang sangat renyah.

c. Rasa khas sorgum

Hasil penilaian sensori menggunakan uji skoring atribut rasa khas sorgum (*sorghum-like taste*) formula optimum dapat dilihat pada Tabel 20. Berdasarkan hasil uji skoring dapat diketahui bahwa atribut rasa khas sorgum produk *flakes* diperoleh skor rata-rata 3,95 yang mepresentasikan rasa khas sorgum tidak kuat hingga agak kuat. Hasil ini serupa dengan penelitian Kumalasari & Budiati (2024), bahwa rasa yang dihasilkan oleh *flakes* cenderung memiliki rasa sepat. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan tanin pada sorgum yang menimbulkan rasa sepat atau pahit. Rasa khas yang dimiliki oleh sorgum yaitu pahit (*bitterness*) dan sepat (*astringency*) yang disertai dengan aroma biji-bijian yang kuat akibat kandungan senyawa fenolik di dalamnya (Kobue-lekalake *et al.*, 2007).

d. Aroma Kelapa

Hasil penilaian sensori menggunakan uji skoring atribut aroma kelapa pada *flakes* formula optimum dapat dilihat pada Tabel 20. Berdasarkan hasil uji skoring dapat diketahui bahwa aroma kelapa pada produk *flakes* diperoleh skor rata-rata 3,90 yang mepresentasikan aroma kelapa tidak kuat hingga agak kuat. Aroma khas yang dihasilkan dipengaruhi oleh senyawa volatil, seperti keton dan lakton yang terkandung dalam tepung kelapa (Saittagaroon *et al.*, 1984). Senyawa tersebut yang memberikan aroma khas kelapa, gurih, manis, dan creamy. Aroma kelapa yang khas mampu menyeimbangkan aroma khas pada sorgum yang cenderung *earthy*. Penambahan tepung kelapa dalam formulasi *flakes* dinilai mampu meningkatkan penerimaan produk secara sensoris. Sejalan dengan penelitian Frimpong *et al.* (2022) bahwa peningkatan penambahan proporsi tepung kelapa berkontribusi positif terhadap peningkatan aroma dan kesukaan panelis dengan skor di antara 5 (suka) dan 6 (sangat suka).

e. *Mouthfeel*

Hasil penilaian sensori menggunakan uji skoring atribut *mouthfeel flakes* formula optimum dapat dilihat pada Tabel 20. Berdasarkan hasil uji skoring dapat diketahui bahwa *mouthfeel* produk *flakes* diperoleh skor rata-rata 3,65 yang mepresentasikan *mouthfeel* berpasir hingga agak berpasir. *Grainy mouthfeel* yaitu sensasi tekstur yang menyerupai butiran halus seperti pasir yang dapat dirasakan saat makanan dikunyah di dalam mulut. Karakteristik *flakes* yang memiliki *mouthfeel* agak berpasir, dipengaruhi oleh bahan baku pembuatannya, yaitu tepung sorgum dan tepung kelapa. Tepung sorgum memiliki karakteristik bersifat kering, kasar, dan berpasir (Antarlina *et al.*, 2021). Di samping itu, tepung kelapa merupakan bahan pangan dengan kadar serat pangan cukup tinggi, dimana penggunaannya dalam proporsi yang banyak mampu menghasilkan kesan berpasir (Gawarti *et al.*, 2022).

3. Tingkat kesukaan (Hedonik)

Tingkat kesukaan keseluruhan terhadap produk *flakes* tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa dapat diketahui melalui uji organoleptik. Uji organoleptik ini menggunakan 40 panelis tidak terlatih dengan uji hedonik skala 1-7 untuk merepresentasikan tingkat kesukaan panelis. Analisis uji hedonik menggunakan uji Wilcoxon menunjukkan bahwa *flakes* sorgum dengan penambahan tepung kelapa pada formula optimum dan *flakes* komersial merk X terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) terhadap tingkat kesukaan keseluruhan. Hal ini ditunjukkan oleh *p-value* (Asymp. Sig) pada *overall* yang lebih kecil dibandingkan dengan taraf signifikansi yaitu ($0,001 < 0,05$). Hasil uji organoleptik secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Hasil uji hedonik formula optimum dan *flakes* komersial

Sampel	Nilai rerata overall (Mean $\pm$ SD)	Keterangan	<i>P-value</i>
<i>Flakes</i> formula optimum	6,13 $\pm$ 0,65 ^a	Suka	0,001
<i>Flakes</i> komersial merk X	5,08 $\pm$ 1,14 ^b	Agak suka	

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$)

Berdasarkan hasil analisis uji hedonik kesukaan keseluruhan (*overall*), nilai rerata *flakes* formula optimum $6,13 \pm 0,65$ (suka), lebih tinggi dibandingkan *flakes* komersial $5,08 \pm 1,14$ (agak suka), menunjukkan bahwa panelis lebih menyukai *flakes* formula optimum. Penilaian *flakes* secara keseluruhan dipengaruhi oleh warna, tekstur, aroma dan rasa. Skor tinggi pada *flakes* formula optimum dipengaruhi oleh komposisi bahan yang lebih kompleks, seperti gula, susu, margarin, tepung kelapa dan vanili yang memberikan kesan positif terutama terhadap rasa manis serta profil aroma yang seimbang. Sementara itu, *flakes* komersial didominasi oleh konsentrasi jagung yang tinggi (90%), sehingga menghasilkan rasa dan aroma jagung yang kuat, yang cenderung kurang disukai oleh panelis. Meskipun demikian, sebagian panelis lebih menyukai warna kuning dan tekstur renyah pada *flakes* komersial, dibandingkan *flakes* formula optimum yang tampak lebih gelap dan kurang renyah.

Temuan ini konsisten dengan tingkat kesukaan *flakes* pada penelitian Sarofa *et al.* (2023) bahwa *flakes* dengan proporsi tepung sorgum termodifikasi : tepung tapioka (80 : 20) memiliki kesukaan keseluruhan kategori suka, namun warnanya cenderung gelap. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa antinutrisi pada tepung sorgum yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas warna. Selain itu, peningkatan proporsi tepung sorgum dalam formulasi produk turunan berpotensi menimbulkan bau langu dan rasa sepat (Mohapatra *et al.*, 2019). Penurunan kualitas sensori tersebut dapat diatasi melalui penambahan tepung kelapa untuk meningkatkan profil rasa dan aroma yang khas. Menurut Frimpong *et al.* (2022), penambahan 30% tepung kelapa dalam formulasi *flakes* jagung secara signifikan meningkatkan kesukaan panelis hingga kategori sangat suka, dengan nilai kesukaan yang terus meningkat seiring bertambahnya tepung kelapa. Stoin *et al.* (2020) turut melaporkan kandungan senyawa volatil pada tepung kelapa memberikan kesan positif atribut rasa dan aroma cookies. Aroma dan cita rasa juga dipengaruhi oleh interaksi lemak dan protein dalam bahan melalui pembentukan senyawa hasil reaksi *maillard* (Xiang *et al.*, 2021) sebagaimana dilaporkan oleh Azizah *et al.* (2025) yang menghasilkan *flakes* dengan karakteristik aroma khas kue kering dan rasa manis.

E. Pembahasan Umum

Fermentasi merupakan salah satu metode modifikasi secara biokimia dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme, seperti bakteri, kapang, maupun yeast dalam menghasilkan enzim maupun metabolit tertentu yang berperan dalam mengubah karakteristik bahan pangan yang difermentasi. Proses fermentasi pada bahan pangan berbasis pati berperan dalam memodifikasi karakteristik fisikokimia, mengubah struktur pati, serta meningkatkan sifat sensoris dan fungsional melalui pemecahan komponen kompleks menjadi sederhana. Penambahan *starter* BAL Bimo-CF dengan kandungan *Lactobacillus* sp. berperan dalam mempercepat laju degradasi. Tepung sorgum hasil modifikasi melalui fermentasi potensial dimanfaatkan sebagai alternatif bahan pensubstitusi pada berbagai produk pangan, salah satunya sereal. Oleh sebab itu, fermentasi menjadi salah satu metode modifikasi pati yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk pangan dengan karakteristik sensoris yang dapat diterima oleh konsumen serta sifat fungsional yang meningkat.

Tepung sorgum yang dimodifikasi melalui fermentasi menggunakan *starter* Bimo-CF dengan konsentrasi 0,1% selama 36 jam menunjukkan karakteristik sensoris yang baik, ditandai dengan warna lebih cerah, aroma dan rasa khas sorgum berkurang, namun tidak menimbulkan aroma maupun rasa masam akibat perlakuan fermentasi. Tepung sorgum termodifikasi juga memberikan perubahan pada struktur pati, dimana fraksi amilosa mengalami penurunan akibat aktivitas enzim amilase yang berperan dalam hidrolisis pati. Rendahnya nilai *breakdown* dan *setback* viscosity pada tepung sorgum hasil fermentasi dengan *starter* Bimo-CF menjadi respon positif, karena menunjukkan kestabilan tepung terhadap panas selama pemasakan dan kemampuan dalam mempertahankan retrogradasi pati. Kestabilan terhadap pemanasan tersebut terjadi akibat peningkatan kristalinitas, sehingga struktur granula pati relatif lebih kokoh dan stabil (Zhao *et al.*, 2019).

Tepung sorgum hasil modifikasi fermentasi dapat diaplikasikan dalam formulasi berbagai produk pangan, termasuk sereal *flakes*. Produk *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi dapat diformulasikan dengan penambahan bahan lain, seperti tepung kelapa sebagai sumber serat sekaligus memperbaiki sifat sensoris

produk. Untuk memperoleh produk dengan karakteristik optimal, diperlukan optimasi formula menggunakan software *Design expert v.13* dengan rancangan *D-Optimal*, berdasarkan batasan yang ditetapkan. Hasil optimasi formula menghasilkan satu formula optimum dengan proporsi 50% tepung sorgum termodifikasi dan 5% tepung kelapa dengan nilai *desirability* 0,929. Formula optimum tersebut didasarkan analisis terhadap respon, yaitu *hardness* sebesar 705,67 gf, daya rehidrasi 40,08%, dan ketahanan renyah dalam susu 7,10 menit. Proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa pada formula optimum secara sinergis berperan dalam meningkatkan *hardness*, daya rehidrasi, dan ketahanan renyah *flakes*, namun proporsi yang melebihi titik optimum atau terjadi interaksi berlebih justru akan menurunkan kualitas fisik produk. Model kuadratik pada masing-masing respon tersebut dianggap valid karena berdasarkan data aktual verifikasi dan validasi sebanyak tiga ulangan berada dalam *prediction interval* (PI). *Flakes* formula optimum berbasis tepung sorgum termodifikasi dengan penambahan tepung kelapa menunjukkan keunggulan dibandingkan produk flakes komersial merk X, berdasarkan kandungan sifat kimia dan sensoris. Kandungan serat pangan *flakes* formula optimum lebih tinggi dibandingkan produk komersial yaitu 9,28%, yang menyumbang sekitar 9,3% terhadap Angka Kecukupan Gizi (AKG) serat harian orang dewasa yang dapat dikategorikan sebagai sereal siap santap kaya serat. Produk ini memiliki karakteristik dengan intensitas warna kuning kecoklatan, tekstur sangat renyah, aroma kelapa tidak kuat, rasa khas sorgum tidak kuat, serta *mouthfeel* berpasir. Berdasarkan uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih, *flakes* formula optimum memperoleh skor 6,13 dengan kategori suka, lebih tinggi dibandingkan produk komersial yang memperoleh skor 5,08 dengan kategori agak suka.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sereal *flakes* berbasis tepung sorgum termodifikasi melalui fermentasi dengan penambahan tepung kelapa mampu menghasilkan produk dengan karakteristik kimia yang baik serta karakteristik sensoris yang lebih unggul dibandingkan produk komersial. Dengan demikian, produk tersebut dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dan dikembangkan menjadi alternatif penganekaragaman produk sereal dengan kandungan serat pangan yang tinggi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Formula optimum yang diperoleh memiliki nilai *desirability* yaitu 0,929 yang terdiri dari 50% tepung sorgum termodifikasi dan 5% tepung kelapa. Dimana formula optimum ini memiliki nilai *hardness* sebesar 705,67 gf, daya rehidrasi sebesar 40,08%, dan ketahanan renyah dalam susu selama 7,10 menit.
2. Karakteristik formula optimum terdiri dari karakteristik kimia dan sensoris, yaitu uji skoring dan uji kesukaan (hedonik):
 - a. Karakteristik kimia flakes formula optimum dan flakes komersial (merk X) secara keseluruhan menunjukkan nilai yang relatif serupa. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada parameter kadar lemak, di mana flakes formula optimum memiliki kadar lemak 6,40% (bk), sedangkan flakes komersial hanya 0,10% (bk). Tingginya kadar lemak tersebut menjadi perhatian dalam stabilitas produk selama penyimpanan.
 - b. Hasil uji skoring *flakes* formula optimum menunjukkan nilai warna 4,40 (kuning kecokelatan), tekstur 5,65 (renyah), rasa khas sorgum 3,95 (tidak kuat), aroma kelapa 3,90 (tidak kuat), dan *mouthfeel* 3,65 (berpasir).
 - c. Tingkat kesukaan (hedonik) menunjukkan bahwa *flakes* formula optimum memperoleh nilai 6,13 (suka), lebih tinggi dibandingkan *flakes* komersial (merk X) dengan nilai 5,08 (agak suka).

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam mengecilkan ukuran partikel tepung menggunakan ayakan 100 *mesh* untuk mengurangi tekstur kasar dan sensasi berpasir pada tepung sorgum maupun produk olahannya. Selain itu, perlu dilakukan penambahan bahan sumber protein untuk meningkatkan protein produk flakes seperti kacang kacangan, sehingga diharapkan dapat menghasilkan karakteristik fisikokimia dan sensoris *flakes* yang lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Adebo, J. A., & Kesa, H. 2023. Evaluation of nutritional and functional properties of anatomical parts of two sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. *Heliyon*, 9(6): 1–9.
- Adzqia, F., Suwonsichon, S., & Thongngam, M. 2023. Effects of white sorghum flour levels on physicochemical and sensory characteristics of gluten-free bread. *Foods*, 12(4113): 1–17.
- Agustia, F. C., Subardjo, Y. P., Ramadhan, G. R., & Betaditya, D. 2019. Formulasi flake mohiro dari mocaf-beras hitam dengan penambahan kacang koro pedang sebagai alternatif sarapan tinggi protein dan serat. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 8(4): 130–136.
- Aini, N., Arsyistawa, H. S., Sustriawan, B., Prihananto, V., Astuti, S. D., Septiana, A. T., Indarto, & Suliman, N. M. 2024. Modification of the physical and chemical properties of Inpago-Protani rice flour via fermentation with Bimo-CF starter. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 7(2): 84–90.
- Aini, N., Wijonarko, G., & Sustriawan, B. 2016. Sifat fisik, kimia, dan fungsional tepung jagung yang diproses melalui fermentasi. *Jurnal Agritech*, 36(2): 160–169.
- Aisah, Harini, N., & Damat. 2021. Pengaruh waktu dan suhu pengeringan menggunakan pengering kabinet dalam pembuatan mocaf (*modified cassava flour*) dengan fermentasi ragi tape. *Food Technology and Halal Science Journal*, 4(2): 172–191.
- Al-abbasy, O. Y., Younus, S. A., Rashan, A. I., & Ahmad, O. A. S. 2024. Maillard reaction: formation, advantage, disadvantage and control. a review. *Food Science and Applied Biotechnology*, 7(1): 145–161.
- Alfansuri, H. R., Fatoni, R., Fathoni, A., Setiarto, R. H. B., & Damayanti, E. 2023. The effect of variation of types of microbial starters on the physical characteristics of modified cassava flour (mocaf) rich in beta-carotene. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 16(2): 128–143.
- Alifianita, N., & Sofyan, A. 2022. Kadar air, kadar protein, dan kadar serat pangan pada cookies dengan substitusi tepung ubi jalar ungu dan tepung rebung. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 12(2): 37–45.
- Aljobair, M. O. 2022. Physicochemical properties and sensory attributes of cookies prepared from sorghum and millet composite flour. *Food Science and Nutrition*, 10(10): 3415–3423.

- Andayani, R. D. 2021. Uji adaptasi sorgum (*Sorghum bicolor*) berdaya hasil tinggi di wilayah Kediri. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 14(1): 30–34.
- Anggraeni, M. C., Nurwantoro, & Abduh, S. B. M. 2017. Sifat fisikokimia roti yang dibuat dengan bahan dasar tepung terigu yang ditambah berbagai jenis gula. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 6(1): 52–56.
- Antarlina, S. S., Estiasih, T., Zubaidah, E., & Harijono. 2021. The physicochemical properties of white sorghum (*Sorghum bicolor* L.) flour in various particle sizes by soaking the seeds before and after dehulling. *Food Research*, 5(3): 129–143.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists*. AOAC International, Maryland, USA.
- Ape, D. I., Nwogu, N. A., Uwakwe, E. I., & Ikedinobi, C. S. 2016. Comparative proximate analysis of maize and sorghum bought from ogbete main market of enugu state, nigeria. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 6(9): 272–275.
- Apostolidis, E., Kioupis, D., Kakali, G., Stoforos, N. G., & Mandala, I. 2021. Effect of starch concentration and resistant starch filler addition on the physical properties of starch hydrogels. *Journal of Food Science*, 86(12): 5340–5352.
- Apriyanto, M., Fungohoi, L., Aprilia, V., Diba, D. F., Prayitno, S. H., Nurhayati, & Sari, D. A. (2021). *Pangan berbasis fermentasi* (A. A. Kiti (ed.); 1st ed., pp. 1–88). Nuta Media, Yogyakarta.
- Apriyantono, A. D., Fardiaz, N.L. Puspitasari, Sedarnawati, & S. Bidiyanto. 1989. *Analisis Pangan*. Institut Pertanian Bogor (IPB Press), Bogor.
- Arukwe, & Chinomnso, D. 2021. Proximate composition , functional and pasting properties of wheat flour supplemented with combined processed pigeon pea flour. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 6(4): 59–65.
- Asamoah, E. A., Le-Bail, A., Oge, A., Queveau, D., Rouaud, O., & Le-Bail, P. 2023. Impact of baking powder and leavening acids on batter and pound cake properties. *Foods*, 12(946): 1–13.
- Astuti, S. D., Andarwulan, N., Fardiaz, D., & Hari Purnomo, E. 2017. Karakteristik tepung talas varietas bentul dan satoimo hasil fermentasi terkendali dengan inokulum komersial. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 28(2): 180–193.
- Azizah, U., Sholahuddin, & Lucky, H. 2025. Karakteristik fisikokimia dan organoleptik flakes terbaik berdasarkan formulasi tepung sorgum (*sorghum bicolor* L.) dan tepung ubi jalar ungu (*Ipomea batatas* L.). *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 7(4): 2488–2501.
- Azrai, M., Pabendon, M. B., Aqil, M., Suarni, Arvan, R. Y., Zainuddin, B., &

- Andayani, N. N. 2021. *Teknologi Budidaya Tanaman Sorgum Unggul Bebas Limbah*; 1st ed., pp 1-86). Cakrawala, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. SNI 2970:2015 Susu bubuk. *Badan Standardisasi Nasional*. www.bsn.go.id
- BPSI Tanaman Serealia. 2024. Deskripsi varietas unggul jagung, sorgum dan gandum. *Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman Serealia*.
- Brigita, E. 2021. *Kajian pustaka: pemanfaatan umbi-umbian sebagai bahan baku flakes* [Universitas Katholik Soegijapranata Semarang].
- Bukonja, S., Tomi'c, J., Pestori'c, M., Maravi'c, N., Despotovi'c, S., Tomi'ci'c, Z., Kiproviski, B., & Panteli'c, N. Đ. 2025. Exploring sorghum flour as a sustainable ingredient in gluten-free cookie production. *Foods*, 14(2668): 1–18.
- Caesy, C. P., Sitania, C. K., Gunawan, S., & Wirawasista, H. 2018. Pengolahan tepung sagu dengan fermentasi aerobik menggunakan rhizopus sp. *Jurnal Teknik Its*, 7(1): 132–134.
- Cahyadi, C., Irbah, A., Saputri, M. I., Capah, N. Z., Nurbaeti, M., & Destiana, I. D. 2024. Analisis fisikokimia tepung bonggol pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) termodifikasi menggunakan starter bimo-cf. *Edufortech*, 9(1): 51–58.
- CEEREAL. 2010. *Cereal portion sizes*.
- Codex. 1989. Standart for sorghum flour (CXS 173-1989). In *FAO/WHO Codex Alimentarius Commision*.
- Colla, K., Costanzo, A., & Gamlath, S. 2018. Fat replacers in baked food products. *Foods*, 7(192): 1–12.
- Dayib, M., Larson, J., & Slavin, J. 2020. Dietary fibers reduce obesity-related disorders: mechanisms of action. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 23(6): 445–450.
- Devi, A., & Khatkar, B. S. 2016. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10): 3633–3641.
- Dewi, K. M. K., Wiadnyani, A. A. I. S., & Puspawati, G. A. K. D. 2023. Karakteristik dan potensi pangan fungsional flakes dengan perbandingan tepung keladi alami (*Xanthosoma sagittifolium*) dan termodifikasi heat moisture treatment (HMT) characteristics. *Itepa: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 12(4): 882–889.
- Dewi, S. R., Widyasanti, A., & Putri, S. H. 2023. Pengaruh konsentrasi pati

singkong terhadap karakteristik edible film berbahan pati singkong dengan penambahan ekstrak daun belimbing wuluh. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 11(2): 158–167.

Divya, P. M., Roopa, B. S., Manusha, C., & Balannara, P. 2023. A concise review on oil extraction methods, nutritional and therapeutic role of coconut products. *Journal of Food Science and Technology*, 60(2): 441–452.

Donmez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P., & Campanella, O. H. 2021. Characterization of starch-water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Current Opinion in Food Science*, 39: 103–109.

El-Sayed, M., & Aal-Abdel. 2009. Functionality of starches and hydrocolloids in gluten-free foods. In *Gluten-Free Food Science and Technology* (pp. 200–224).

El Hosry, L., 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): 1–43.

Erawati, C. M., & Dewi, A. D. R. 2022. Optimasi formula tepung komposit tinggi protein dan seng dengan response surface methodology. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 33(2): 119–128.

Faridah, D. N., Fardiaz, D., Andarwulan, N., & Sunarti, T. C. 2014. Karakteristik sifat fisikokimia pati garut. *Agritech*, 34(1): 14–21.

Fast, R. B., Perdon, A. A., & Schonauer, S. L. (2020). Breakfast Cereals and How They Are Made: Raw Materials, Processing, and Production. In *Woodhead Publishing and AACC International Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812043-9.00002-3>

Fathurrizqiah, R., & Panunggal, B. 2015. Kandungan pati resisten, amilosa, dan amilopektin snack bar sorgum sebagai alternatif makanan selingan bagi penderita diabetes mellitus tipe 2. *Journal of Nutrition College*, 4(2): 562–569.

Fatmawati, A. H., Adawiyah, D. R., & Wulandari, N. 2021. Optimasi formula produk gel oles berbahan dasar biji selasih menggunakan teknik response surface methodology. *AgriTECH*, 41(3): 294–304.

Fauziyah, Z., Nia, L., Nandi, F. J., Lingga, R., & Helmi, H. 2023. Identifikasi dan potensi probiotik bakteri asam laktat pada pangan fermentasi lokal. *Jurnal Bios Logos*, 13(2): 54–64.

Fennema, O. W. 1985. *Principle of Food Science* (2nd (ed)). Food Chemistry.

- Fernando, W. M. A. D. B., Martins, I. J., Goozee, K. G., Brennan, C. S., Jayasena, V., & Martins, R. N. 2015. The role of dietary coconut for the prevention and treatment of Alzheimer's disease: potential mechanisms of action. *British Journal of Nutrition*, 114: 1–14.
- Fitriani, S., Yusmarini, Riftyan, E., Saputra, E., & Rohmah, M. C. 2023. Karakteristik dan profil pasta pati sagu modifikasi prigelatinisasi pada suhu yang berbeda. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 16(2): 104–115.
- Frimpong, T. G., Wireko-manu, F. D., & Oduro, I. 2022. Development and sensory assessment of ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science*, 1–7.
- Garnida, Y. 2020. *Uji Inderawi & Sensori pada Industri Pangan* (A. S. Hamidin (ed.)). Manggu Makmur Tanjung Lestari.
- Garnida, Y., Hervelly, & Rahma, R. N. 2019. Modifikasi tepung ganyong (*Canna edulis kerr.*) metode heat moisture treatment pada suhu dan waktu pemanasan berbeda dan aplikasi tepung pada pembuatan cookies. *Pasundan Food Technol Journal*, 6(1): 65–72.
- Gawarti, Syamsidah, & Febriani, N. R. M. 2022. Pemanfaatan tepung ampas kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai bahan substitusi dalam pembuatan coconut crispy untuk meningkatkan potensi usaha. *Jurnal Edukasi Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2): 75–82.
- Ghania, R., Yanti, R., & Manikharda. 2024. Karakteristik sensori dan fisikokimia biskuit berbahan baku tepung kacang merah dan tepung ubi jalar ungu. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 17(2): 187–199.
- Gibney, M. J., Barr, S. I., Bellisle, F., Drewnowski, A., Fagt, S., Livingstone, B., Masset, G., Moreiras, G. V., Moreno, L. A., Smith, J., Vieux, F., Thielecke, F., & Hopkins, S. 2018. Breakfast in human nutrition: the international breakfast research initiative. *Nutrients*, 10(5): 1–12.
- Gionte, F., Limonu, M., & Liputo, S. A. 2022. Karakteristik dan daya terima flakes berbahan dasar tepung ubi jalar ungu yang di formulasi dengan tepung bekatul. *Jambura Journal of Food Technology*, 4(1): 34–44.
- Gloria, J. S., Wisaniyasa, N. W., & Yusa, N. M. 2022. Pengaruh perbandingan tepung beras merah (*Oryza nivara L.*) dan tepung kecambah kacang merah (*Phaseolus vulgaris L.*) terhadap karakteristik flakes. *Itepa: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 11(2): 350–361.
- Gozaly, T., Sutrisno, E. T., & Saleha, N. M. 2019. Optimasi formulasi flakes berbasis tepung ubi cilembu tepung tapioka serta tepung kacang hijau. *Pasundan Food Technology Journal*, 6(1): 40–50.

- Hadistio, A., Jumiono, A., & Fitri, S. 2019. Tepung mocaf (*modified cassava flour*) untuk ketahanan pangan indonesia. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 1(1): 13–17.
- Hasrini, R. F., & Khoiriyah, A. 2018. Analisis produk krim kental manis dalam rangka pengembangan standar nasional indonesia baru. *Jurnal Standardisasi*, 20(3): 171–179.
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X., & Zhang, C. 2022. Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11: 1–10.
- Hersoelistyorini, W., Dewi, S. S., & Kumoro, A. C. 2015. Sifat fisikokimia dan organoleptik tepung mocaf (*modified cassava flour*) dengan fermentasi menggunakan ekstrak kubis. *The 2nd University Research Colloquium*: 10–17.
- Heryana, A. 2023. Bekerja dengan data tidak normal. In *Esa Unggul*.
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., & Sopyan, I. 2021. Design-expert software sebagai alat optimasi formulasi sediaan farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(1): 99–120.
- Hunaefi, D., & Ulfah, F. 2019. Pendugaan umur simpan produk pastry dengan quantitative descriptive analysis (QDA) dan metode arrhenius. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 6(2): 72–78.
- Hustiany, R. 2016. Reaksi maillard pembentuk citarasa dan warna pada produk pangan. In *Lambung Mangkurat University Press* (1st ed., Vol. 1, Issue 1). Lambung Mangkurat University Press.
- ICRISAT, & FAO. 1996. *The world sorghum and millet economies*.
- Ilyasa, S. N., Hodijat, A., & Putranto, K. 2024. Pengaruh Konsentrasi Starter Bimo-CF dan Waktu Fermentasi terhadap Karakteristik Tepung Mocaf. *Jurnal Dimamu*, 3(2): 177–186.
- Jensen, W. A. 2016. Confirmation runs in design of experiments. *Journal of Quality Technology*, 48(2): 162–177.
- Jiamjariyatam, R., Roskhrua, P., & Attiwittayaporn, S. 2021. Effect of coconut flour on biscuit quality. *Journal of Culinary Science & Technology*: 1–15.
- Kahfi, M. A., Sutisna, A. N., & Cecep, A. R. 2021. Using design expert d-optimal for formula optimization of functional drink that enriched with moringa leaf extract (*Moringa oleifera*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*: 1–11.
- Kakan, A., Changade, S., & Chopde, S. 2016. Effect of incorporation of Paneer whey on dough characteristics and organoleptic attributes of milk bread. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 35(2): 143–148.

- Khairunnisa, Harun, N., & Rahmayuni. 2018. Pemanfaatan tepung talas dan tepung kacang hijau dalam pembuatan flakes. *Jurnal Sagu*, 17(1): 19–28.
- Kinanti, P. S. K., Amanto, B. S., & Atmaka, W. 2014. Kajian karakteristik fisik dan kimia tepung sorghum (*Sorghum bicolor L.*) varietas madu termodifikasi yang dihasilkan dengan variasi konsentrasi dan lama perendaman asam laktat. *Teknosains Pangan*, 3(1): 135–144.
- Kitessa, D. A. 2024. Review on effect of fermentation on physicochemical properties, anti-nutritional factors and sensory properties of cereal-based fermented foods and beverages. *Annals of Microbiology*, 74(32): 1–8.
- Kneifel, W., & Seiler, A. 1993. Water-holding properties of milk protein products - a review. *Food Structure*, 12(3): 297–308. <http://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol12/iss3/3>
- Kobue-lekalake, R. I., Taylor, J. R. N., & Kock, H. L. De. 2007. Effects of phenolics in sorghum grain on its bitterness, astringency and other sensory properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 1940–1948.
- Komala, A., Yusmarini, & Rahmayuni. 2017. Kajian pemanfaatan tepung sukun dan tepung ampas kelapa dalam pembuatan flakes. *Sagu*, 16(2): 1–9.
- Kong, X. 2020. Fine structure of amilosa dan amilopektin. In S. Wang (Ed.), *Starch Structure, Functionality and Application in Foods* (pp. 29–39). <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0622-2>
- Kumalasari, I. D., & Budiati, R. 2024. Analisis sifat fisiko-kimia, mikrobiologi, dan organoleptik flakes berbahan dasar tepung sorgum (*Sorghum bicolor L.*) dan tepung kacang kedelai (*Glycine max L.*). *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 13(1): 99–109.
- Kumari, A., & Mehta, P. K. 2022. An overview of Microbial α -amylase and recent biotechnological developments. *Current Biotechnology*, 11: 10–26.
- Kurniadi, M., Andriani, M., Faturhman, F., & Damayanti, E. 2013. Karakteristik fisikokimia tepung biji sorgum (*Sorghum bicolor L.*) terfermentasi bakteri asam laktat *Lactobacillus acidophilus*. *Agritech*, 33(3): 288–295.
- Kurniadi, M., Arsyad, M. ., Sari, A. M., Nurhayati, R., & Wiyono, T. 2019. The effect of fermentation duration and starter concentration on physico-chemical properties of modified sorghum flour by *Lactobacillus plantarum* FNCC 0027. *Food Research*, 3(5): 441–447.
- Lembong, E., Wulandari, E., Harlina, P. W., & Tsalitsu, S. 2025. Fermentation on the physico and functional properties of red sorghum flour (*Sorghum bicolor L.*). *Chimica et Natura Acta*, 13(2): 115–126.

- Lin, X., Zhang, X., & Xu, B. 2023. Morphological, structural, thermal, pasting, and digestive properties of starches isolated from different varieties of rice: a systematic comparative Study. *Foods*, 12: 1–20.
- Liu, T., Zhen, X., Lei, H., Li, J., Wang, Y., Gou, D., & Zhao, J. 2024. Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: an in-depth study on its biological functions. *Food Chemistry: X*, 22: 1–12.
- Luckett, C. R., & Wang, Y. J. 2012. Application of enzyme-treated corn starches in breakfast cereal coating. *Journal of Food Science*, 77(8): 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02794.x>
- Mahmudah, N. A., Amanto, B. S., & Widowati, E. 2017. Karakteristik fisik, kimia, dan sensoris flakes pisang kepok samarinda (*Musa paradisiaca balbisiana*) dengan substitusi pati garut. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 10(1): 32–41.
- Manuhara, G. J., Amanto, B. S., & Astuti, T. A. 2016. Effect of drying temperatures on physical characteristics of sorghum flour modified with lactic acid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193(1): 1–6.
- Mao, C., Wu, S., Zhang, L., & Zhuang, H. 2024. Effects of fermentation modification and combined modification with heat-moisture treatment on the multiscale structure, physical and chemical properties of corn flour and the quality of traditional fermented corn noodles. *Foods*, 13: 1–23.
- Matz, S. A. 1991. *Chemistry and technology of cereals as food and feed* (2nd ed.). Springer New York, NY.
- Mert, S., Sahin, S., & Sumnu, G. 2015. Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2): 1121–1127.
- Mirratunnisya, Ujianti, R. M. D., Muflihati, I., & Nurdyansyah, F. 2022. Studi pembuatan flakes dari ubi jalar putih (*Ipomea batatas*) dan kacang hijau (*Vigna radiata L.*). *TEKNOBUGA: Jurnal Teknologi Busana Dan Boga*, 10(2): 124–130.
- Misgiyarta, Suismono, & Suyanti. 2009. Tepung kasava bimo kian prospektif. *Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian*, 1–6.
- Moede, F. H., Gonggo, S. T., & Ratman. 2017. Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol dari pati ubi jalar kuning (*Ipomea batata L.*). *Jurnal Akademika Kimia*, 6(2): 86–91.
- Mohapatra, D., Patel, A. S., Kar, A., Deshpande, S. S., & Tripathi, M. K. 2019. Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum. *Food Chemistry*, 271: 129–135.

- Mulyandari, R. S. H. 2018. 600 Teknologi inovatif pertanian. In R. S. H. Mulyandari (Ed.), *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian* (1st ed.). IAARD Press.
- Mulyaningsih, Y., & Rosida, J. 2002. Membandingkan hasil analisis energi total menggunakan bom kalorimeter dengan hasil analisis proksimat. *Temu Teknis Fungsional Non Peneliti*: 93–97.
- Naik, B., Kumar, V., Goyal, S. K., Tripathi, A. D., Mishra, S., Saris, P. E. J., Kumar, A., Rizwanuddin, S., Kumar, V., & Rustagi, S. 2023. Pullulanase: unleashing the power of enzyme with a promising future in the food industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11: 1–16.
- Neeharika, B., Suneetha, W. J., Kumari, B. A., & Tejashree, M. 2020. Leavening agents for food industry. *International Journal Od Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(9): 1812–1817.
- Nopiani, Y., Ayu, D. F., Rossi, E., Zalfiatri, Y., & Nurhadijah, S. 2023. Pengaruh tepung ampas kedelai dalam pembuatan flakes ubi jalar merah. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(2): 95–104.
- Nuraida, L., Hasanah, U., Athaya, D. R., & Refita, K. 2022. *Teknologi fermentasi pangan* (T. Panandita (ed.); 1st ed.). PT Penerbit IPB Press.
- Nurhidayanti, A., Dewi, S. A., & Narsih. 2017. Pembuatan flakes dengan variasi tepung gandum dan tepung kelapa dalam upaya peningkatan mutu flakes. *Jurnal Teknologi Pangan*, 8(2):155–162.
- Nuriana, A., Aini, N., & Karseno. 2019. Formulasi breakfast meal flakes dari tepung suweg dan stabilized rice bran menggunakan metode respon permukaan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 8(2): 52–59.
- Nuzuliyanti, S., Arham, R., Dahlia, & Amrullah. 2025. Optimization of the fermentation process in the manufacture of modified porang flour using the biologically modified cassava flour starter. *Food Research*, 9(4): 266–275.
- Octavia, R., Indriastuti, A., & Napang, S. 2023. Pembuatan flakes dari pangan tepung beras merah (*Oriza niavara*) dengan penambahan labu kuning (*Cucurbita moschata* durch). *Journal of Chemical Process Engineering*, 8(1): 31–39.
- Ofori-Asenso, R., Owen, A. J., & Liew, D. 2019. Skipping breakfast and the risk of cardiovascular disease and death: A systematic review of prospective cohort studies in primary prevention settings. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 6(3): 1–11.
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., Onyeagba, R. A., & Okereke, H. C. 2019. Microbiological quality, proximate composition and in vitro starch/protein

- digestibility of sorghum bicolor flour fermented with lactic acid bacteria consortia. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(7): 1–9.
- Pan, L., Feng, S., Li, W., & Zhu, W. 2023. Sorghum tannin extract impedes in vitro digestibility and fermentability of nutrients in the simulated porcine gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science*, 101: 1–11.
- Papunas, M. E., Djarkasi, G. S. S., & Moningka, J. S. C. 2013. Karakteristik fisikokimia dan sensoris flakes berbahan baku tepung jagung (*Zea mays L*), tepung pisang goroho (*Musa acuminata* sp.) dan tepung kacang hijau (*Phaseolus cocos*), 3(5).
- Paramita, A. H., & Putri, W. D. R. 2015. Pengaruh penambahan tepung bengkuang dan lama pengukusan terhadap karakteristik fisik, kimia dan organoleptik flake talas. *Pangan Dan Agroindustri*, 3(3): 1071–1082.
- Perdon, A. A., Poutanen, K. S., & Schonauer, S. L. 2020. Breakfast cereals and how they are made-Introduction. In *Breakfast Cereals and How They Are Made: Raw Materials, Processing, and Production* (3rd ed., pp. 1–4). Elsevier Inc.
- Polii, F. F. 2017. Pengaruh substitusi tepung kelapa terhadap kandungan gizi dan sifat organoleptik kue kering. *Buletin Palma*, 18(2): 91–98.
- Pombo-Rodrigues, S., Hashem, K. M., He, F. J., & Macgregor, G. A. 2017. Salt and sugars content of breakfast cereals in the UK from 1992 to 2015. *Public Health Nutrition*, 20(8): 1500–1512.
- Purnamasari, I. W., & Putri, W. D. R. 2015. Pengaruh penambahan tepung labu kuning dan natrium bikarbonat terhadap karakteristik flake talas. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(4) 1375–1385.
- Purwati, D., Khirzin, M. H., Prastujati, A. U., Sari, D., & Prayitno, S. S. 2024. Identifikasi lexicon (bahasa sensori) dalam pengembangan profil greek yoghurt menggunakan panelis terlatih. *Journal of Animal Science*, 9(1): 25–31.
- Putri, A. L. O., & Kusdiyantini, E. 2018. Isolasi dan identifikasi bakteri asam laktat dari pangan fermentasi berbasis ikan (*Inasua*) yang diperjualbelikan di Maluku-Indonesia. *Jurnal Biologi Tropika*, 1(2): 6–12.
- Rady, E. H. A., El-Sheikh, A. A., & Othman, S. 2021. The distribution of the coefficient of determination in linear regression model: a review. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23(9): 126–127.
- Rahayu, A. P., Istianah, N., & Ali, D. Y. 2019. Pengaruh proporsi tepung sorgum dan tepung sagu aren terhadap sifat fisik mie kering bebas gluten. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 7(4): 22–30.

- Rahmadhani, R., & Fibrianto, K. 2016. Proses penyiapan mahasiswa sebagai panelis terlatih dalam pengembangan lexicon (bahasa sensori) susu skim uht dan susu kaya lemak uht. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 4(1): 190–200.
- Rahmawati, L. K., Muhandri, T., Iwansyah, A. C., Palupi, N. S., & Ambarwati, K. 2025. Optimization of breakfast meal flakes based on modified jali flour. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 36(1): 13–27.
- Rakhmawati, N., Amanto, B. S., & Praseptianga, D. 2014. Formulation and evaluation sensory characteristic and physic chemical of composite flakes product which made from tapioca flour, red beans flour (*Phaseolus vulgaris* L.) and konjac flour (*Amorphophallus oncophyllus*). *Teknosains Pangan*, 3(1): 63–73.
- Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., & Kusumaningtyas, R. D. 2017. Review pemanfaatan design expert untuk optimasi komposisi campuran minyak nabati sebagai bahan baku sintesis biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 1(1): 11–16.
- Ramya, H., & Pattan, N. 2019. Development and quality evaluation of ready-to-use coconut flour. *International Journal of Current Research*, 11(3): 2512–2514.
- Reyniers, S., Ooms, N., & Delcour, J. A. 2020. Transformations and functional role of starch during potato crisp making: a review. *Journal of Food Science*, 85(12): 4118–4129.
- Ridhani, M. A., Vidyaningrum, I. P., Akmala, N. N., Fatihatunisa, R., Azzahro, S., & Aini, N. 2021. Potensi penambahan berbagai jenis gula terhadap sifat sensori dan fisikokimia roti manis: review. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(3): 61–68.
- Rosidah, M., Indrianti, N., & Budiati, T. 2025. Karakteristik profil gelatinisasi pasta berbagai jenis tepung sorgum lokal di indonesia. *JOFE : Journal of Food Engineering*, 4(2): 92–101.
- Sabilla, N. F., & Murtini, E. S. 2020. Pemanfaatan tepung ampas kelapa dalam pembuatan flakes cereal (kajian proporsi tepung ampas kelapa: tepung beras). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3): 155–164.
- Saittagaroon, S., Kawakishi, S., & Namiki, M. 1984. *Aroma constituents of roasted coconut*. 48(9): 2301–2307.
- Sari, P. M., Muhardina, V., Hakim, L., Rahmiati, T. M., & April. 2020. Pengaruh konsentrasi ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) dan lama fermentasi terhadap kualitas cuka air kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal TEKSAGRO*, 1(2): 39–46.
- Sarofa, U., Witjaksono, L. A., Salsabila, A., & Ishaqy, M. A. S. 2023. Pengaruh proporsi tepung sorgum termodifikasi dan tapioka serta lama pengukusan terhadap karakteristik flakes. *JITIPARI (Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Industri*

Pangan UNISRI), 8(1): 56–64.

Setiaji, B. 2012. *Pengaruh suhu dan lama pemanggangan terhadap karakteristik soyflakes (Glycine max L)*. Universitas Pasundan, Bandung.

Setiarto, R. H. B., & Widhyastuti, N. 2017. Pengaruh fermentasi bakteri asam laktat dan siklus pemanasan bertekanan-pendinginan terhadap kadar pati resisten tepung ubi jalar ungu (*Ipomea batatas var ayamurasaki*) termodifikasi. *Journal of Agro-Based Industry*, 34(1): 26–35.

Setiarto, R. H. B., Widhyastuti, N., & Saskiawan, I. 2016. Pengaruh fermentasi fungi, bakteri asam laktat dan khamir terhadap kualitas nutrisi tepung sorgum. *Agritech*, 36(4): 440–449.

Setiarto, R. H. B., Widhyastuti, N., & Saskiawan, I. 2017. Karakteristik amilografi tepung sorgum fermentasi dan aplikasinya pada produk cake dan cookies. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 28(1): 10–19.

Setiarto, R. H. B., Widhyastuti, N., & Setiadi, D. 2018. Peningkatan pati resisten tepung sorgum termodifikasi melalui fermentasi dan siklus pemanasan bertekanan-pendinginan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(1): 10–20.

Seveline, Oktafiana, H., Indriatama, W. M., & Taufik, M. 2021. Pengaruh penambahan bakteri asam laktat terhadap karakteristik kimia dan organoleptik tepung sorgum fermentasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(1): 106–114.

Shakeela, H., Mohan, K., & Nisha, P. 2024. Unlocking a nutritional treasure: health benefits and sustainable applications of spent coconut meal. *Sustainable Food Technology*, 2(3): 497–505.

Simwaka, J. E., Chamba, M. V. M., Huiming, Z., Masamba, K. G., & Luo, Y. 2017. Effect of fermentation on physicochemical and antinutritional factors of complementary foods from millet, sorghum, pumpkin and amaranth seed flours. *International Food Research Journal*, 24(5): 1869–1879.

Sofyani, S., Kandou, J. E. A., & Sumual, M. F. 2019. Pengaruh penambahan tepung tapioka dalam pembuatan biskuit berbahan baku tepung ubi banggai (*Dioscorea alata L.*). *Jurnal Teknologi Pertanian (Agricultural Technology Journal)*, 10(2): 73–84.

Statista. 2025. *Breakfast Cereal-Worldwide*.
<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/bread-cereal-products/breakfast-cereals/worldwide?currency=usd>

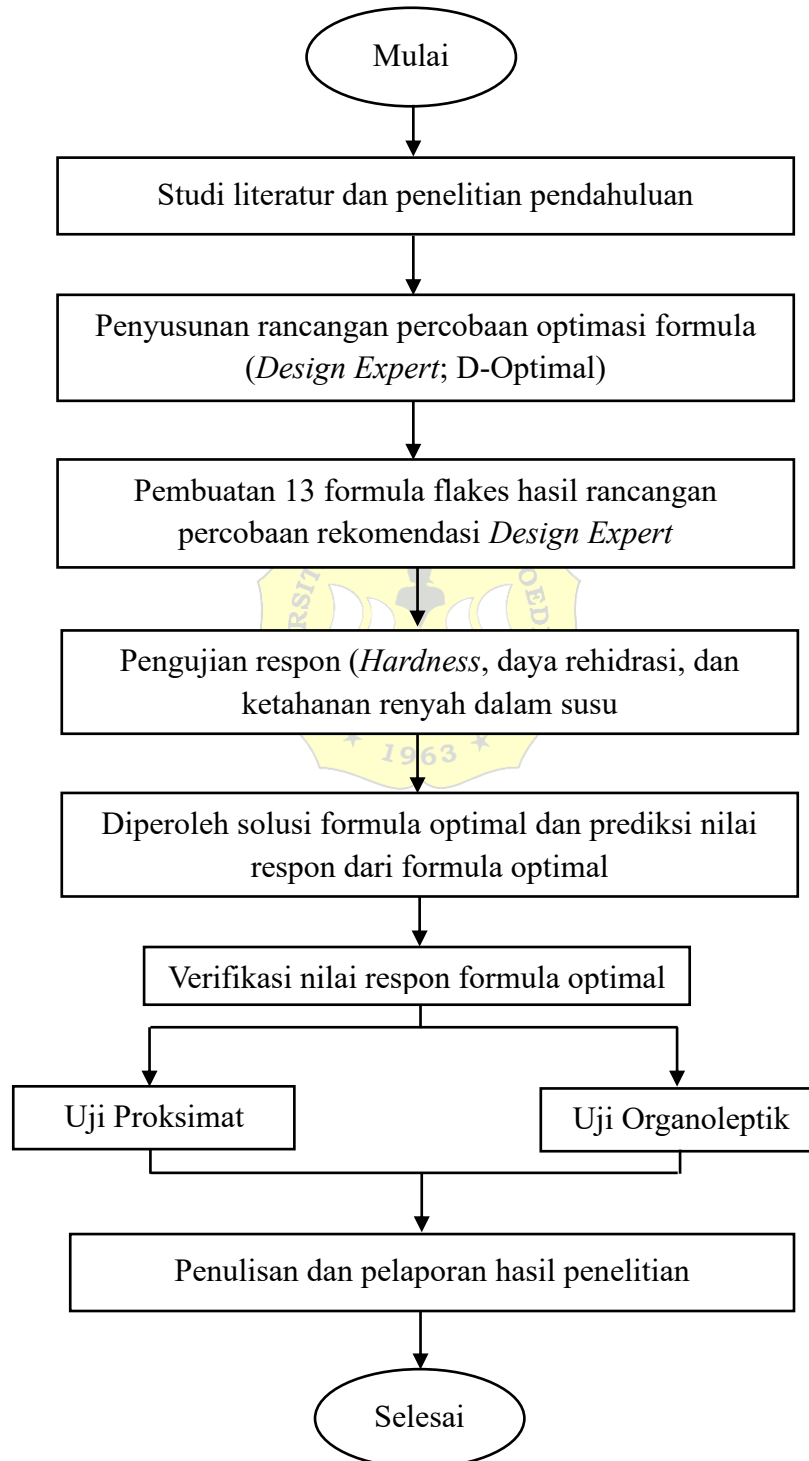
Stoin, D., Jianu, C., Velciov, A. B., & Cocan, I. 2020. Sensorial and nutritional quality of gluten-free cookies developed from rice and coconut flour mixtures. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 26(4): 397–405.

- Suarni. 2016. Peran sifat fisikokimia sorgum dalam diversifikasi pangan dan industri serta prospek pengembangannya. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(3): 99–110.
- Sujithra, B., Deepika, S., Akshaya, K., & Ponnusami, V. 2019. Production and optimization of xanthan gum from three-step sequential enzyme treated cassava bagasse hydrolysate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 1–8.
- Surya, R., Romulo, A., & Susilo, E. 2021. Optimization of functional beverage formula made from turmeric, tamarind, and ginger by D-optimal mixture design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794, 1–8.
- Susanti, I., Lubis, E. H., & Meilidayani, S. 2017. Flakes sarapan pagi berbasis mocaf dan tepung jagung. *Journal of Agro-Based Industry*, 34(1): 44–52.
- Tamtarini, & Yuwanti, S. 2005. Pengaruh penambahan koro-koroan terhadap sifat fisik dan sensorik flake ubi jalar. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 6(3): 187–192.
- Thilakarathna, G. C., Navarathne, S. B., & Wickramasinghe, I. 2017. Identification of important physical properties and amylose content in commercially available improved and traditional rice varieties in sri lanka. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(12): 186–194.
- Ulfa, A. M., Winahyu, D. A., & Jasuma, M. 2017. Penetapan kadar lemak margarin merk x dengan kemasan dan tanpa kemasan dengan metode sokletasi. *Jurnal Analisis Farmasi*, 2(4): 258–262.
- USDA. 2024. *Sorghum Grain, White, Pearled, Unenriched, Dry, Raw*. National Nutrient Database for Standard References. USA: Agriculture Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/2710841/nutrients>
- Vijayakumar, V., Shankar, N. R., Mavathur, R., Mooventhana, A., Anju, S., & Manjunath, N. 2018. Diet enriched with fresh coconut decreases blood glucose levels and body weight in normal adults. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*: 1–7.
- Wanyonyi, S. W., Okango, A. A., & Koech, J. K. 2021. Exploration of D-, A-, I- and G- optimality criteria in mixture modeling. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 12(4): 15–28.
- Weber, C., Harnack, L., Johnson, A., Jasthi, B., Pettit, J., & Stevenson, J. 2021. Nutrient comparisons of margarine/margarine-like products, butter blend products and butter in the US marketplace in 2020 post-FDA ban on partially hydrogenated oils. *Public Health Nutrition*, 25(5): 1123–1130.
- Wei, C., Ge, Y., Zhao, S., Liu, D., Jiliu, J., Wu, Y., Hu, X., Wei, M., Wang, Y., Wang, W., Wang, L., & Cao, L. 2022. Effect of fermentation time on

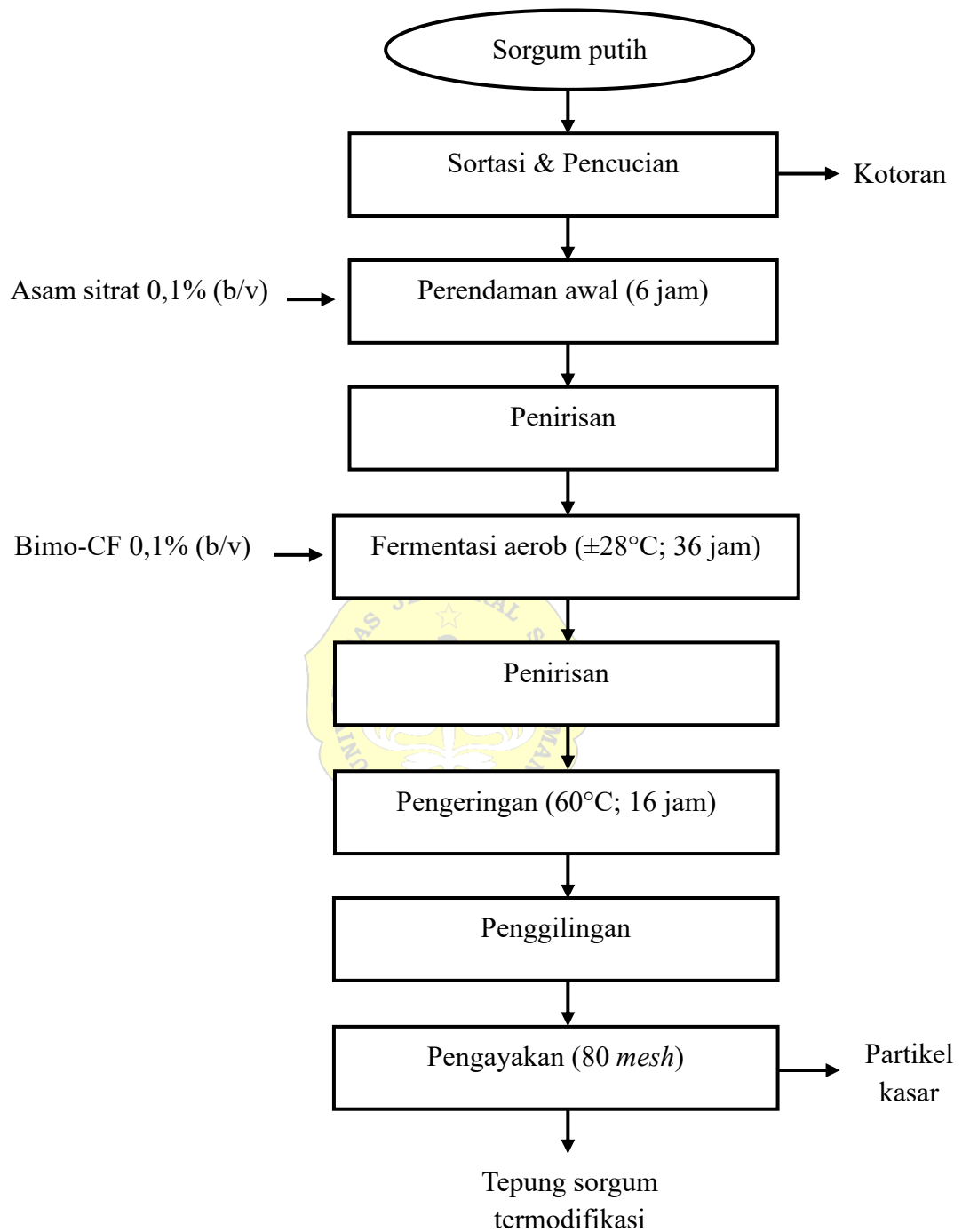
- molecular structure and physicochemical properties of corn ballast starch. *Frontiers in Nutrition*, 9: 1–12.
- Widyatmoko, H., Subagio, A., & Nurhayati, N. 2018. Sifat-sifat fisikokimia pati ubi kayu terfermentasi khamir indigenus tapai. *Agritech*, 38(2): 140–150.
- Wu, G., Ashton, J., Simic, A., Fang, Z., & Johnson, S. K. 2018. Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals. *Food Research International*, 103: 509–514.
- Xiang, J., Liu, F., Wang, B., Chen, L., Liu, W., & Tan, S. 2021. A literature review on maillard reaction based on milk products : advantages , disadvantages , and avoidance strategies. *Foods*, 10(1998): 1–18.
- Xu, S., & Kerr, W. L. 2012. Comparative study of physical and sensory properties of corn chips made by continuous vacuum drying and deep fat frying. *LWT-Food Science and Technology*, 48(1): 96–101.
- Yan, S., Li, Z., Wang, B., Li, T., Li, Z., Zhang, N., & Cui, B. 2023. Correlation analysis on physicochemical and structural properties of sorghum starch. *Frontiers in Nutrition*, 1–16.
- Yashinta, M. R., Handayani, C. B., & Afriyanti. 2021. Karakteristik kimia, fisik dan organoleptik cookies tepung mocaf dengan variasi jenis dan konsentrasi lemak. *Journal of Food and Agricultural Product*, 1(1): 1–11.
- Yazid, N. S. M., Abdullah, N., Muhammad, N., & Peralta, H. M. M. 2018. Application of starch and starch-based products in food industry. *Journal of Science and Technology*, 10(2): 144–174.
- Yulistiani, R., Rosida, & Kumala, I. W. 2021. Karakteristik fisikokimia dan organoleptik flakes : kajian proporsi tepung talas termodifikasi dan tepung kacang tunggak serta penambahan natrium bikarbonat. *Jurnal Teknologi Pangan*, 15(1): 21–36.
- Yulvianti, M., Ernayati, W., Tarsono, & R, M. A. 2015. Pemanfaatan ampas kelapa sebagai bahan baku tepung kelapa tinggi serat dengan metode freeze drying. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(2): 101–107.
- Yusra, S., & Putri, E. 2022. Karakteristik fisikokimia tepung sorgum (*Sorghum bicolor* L.) varietas lokal merah dengan fermentasi spontan. *Jurnal Agroteknologi*, 16(2): 163–175.
- Zhao, T., Li, X., Zhu, R., Ma, Z., Liu, L., Wang, X., & Hu, X. 2019. Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch. *Carbohydrate Polymers*, 218: 163–169.

LAMPIRAN

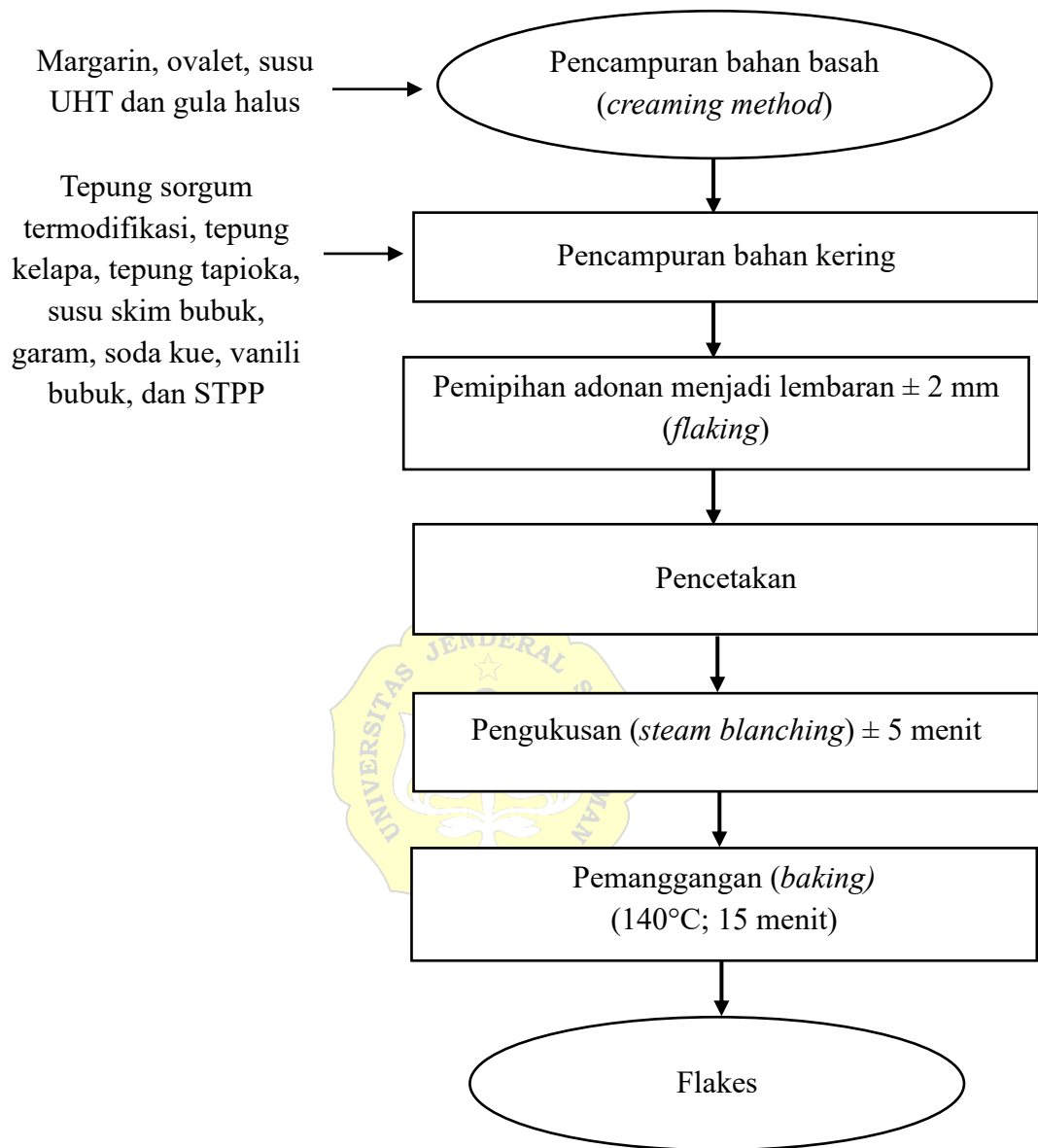
Lampiran 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian



Lampiran 2. Proses pembuatan tepung sorgum termodifikasi (Astuti *et al.*, 2017)



Lampiran 3. Diagram alir proses pembuatan *flakes* (Gozaly *et al.*, 2019)



Lampiran 4. Rincian formula bahan pembuatan *flakes*

Run	Tepung sorgum termodifikasi (%)	Tepung kelapa (%)	Gula halus (%)	Tepung tapioka (%)	Susu bubuk (%)	Margarin (%)	Ovalet (%)	Garam (%)	Soda kue (%)	Vanili (%)	STPP (%)
1	50	5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
2	40	15	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
3	40	15	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
4	45	10	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
5	45	10	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
6	47,5	7,5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
7	50	5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
8	50	5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
9	42,5	12,5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
10	40	15	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
11	45	10	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
12	40	15	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4
13	50	5	15,6	9	9	6,5	2	1	1	0,5	0,4

Lampiran 5. Tabel ANOVA respon kekerasan (*hardness*)

ANOVA for Quadratic model

Response 1: *Hardness*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value	
Model	4.046E+05	2	2.023E+05	15.85	0.0008	significant
⁽¹⁾ Linear						
Mixture	67909.14	1	67909.14	5.32	0.0438	
AB	3.367E+05	1	3.367E+05	26.37	0.0004	
Residual	1.277E+05	10	12766.71			
Lack of Fit	37666.46	2	18833.23	1.67	0.2470	not significant
Pure Error	90000.60	8	11250.07			
Cor Total	5.323E+05	12				

Fit Statistics

Std. Dev.	112.99	R^2	0.7602
Mean	773.32	Adjusted R^2	0.7122
C.V. %	14.61	Predicted R^2	0.5999
		Adeq Precision	8.3188

Lampiran 6. Tabel ANOVA respon daya rehidrasi

ANOVA for Quadratic model

Response 2: Daya Rehidrasi

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	P-value	
Model	565.03	2	282.52	22.65	0.0002	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	87.78	1	87.78	7.04	0.0242	
AB	477.25	1	477.25	38.26	0.0001	
Residual	124.75	10	12.47			
Lack of Fit	3.85	2	1.92	0.1273	0.8822	not significant
Pure Error	120.90	8	15.11			
Cor Total	689.78	12				

Fit Statistics

Std. Dev.	3.53	R^2	0.8191
Mean	42.47	Adjusted R^2	0.7830
C.V. %	8.32	Predicted R^2	0.6867
		Adeq Precision	9.9297

Lampiran 7. Tabel ANOVA respon ketahanan renyah dalam susu

ANOVA for Linear model

Response 3: Ketahanan renyah dalam susu

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value	
Model	9.00	2	84.50	195.19	< 0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	8.93	1	8.93	387,31	< 0.0001	
AB	0,0709	1	0,0709	3.08	0.1100	
Residual	0.2304	10	0.0230			
Lack of Fit	0.0496	2	0.0248	1.10	0.3791	not significant
Pure Error	0.1808	8	0.0226			
Cor Total	9.23	12				

Fit Statistics

Std. Dev.	0.1518	R^2	0.9750
Mean	6.27	Adjusted R^2	0.97400
C.V. %	2.42	Predicted R^2	0.9577
		Adeq Precision	28.1037

Lampiran 8. Hasil paired T test analisa proksimat formula kontrol dan optimum

Paired Samples Statistics

Parameter Proksimat	Formula	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Kadar Air	Optimum	5.1100	2	2.23446	1.58000
	Komersial	3.5300	2	.91924	.65000
Kadar Abu	Optimum	2.1050	2	1.46371	1.03500
	Komersial	1.7500	2	1.18794	.84000
Kadar Lemak	Optimum	6.4000	2	.02828	.02000
	Komersial	.1000	2	.14142	.10000
Kadar Protein	Optimum	3.3650	2	.20506	.14500
	Komersial	2.9500	2	.12728	.09000
Kadar Karbohidrat by difference	Optimum	86.2550	2	3.64160	2.57500
	Komersial	91.8750	2	2.01525	1.42500
Total Energi	Optimum	3.3000	2	.16971	.12000
	Komersial	4.1650	2	.50205	.35500
Serat Pangan	Optimum	9.2800	2	.72125	.51000
	Komersial	5.6700	2	.14142	.10000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	Df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Kadar Air	Optimum – Komersial	1.58000	1.31522	.93000	-10.23677	13.39677	1.699	1	.399
Kadar Abu	Optimum – Komersial	.35500	2.65165	1.87500	-23.46913	24.17913	.189	1	.881
Kadar Lemak	Optimum – Komersial	6.30000	.16971	.12000	4.77526	7.82474	52.500	1	.012
Kadar Protein	Optimum – Komersial	.41500	.33234	.23500	-2.57096	3.40096	1.765	1	.329
Kadar Karbohidrat <i>by difference</i>	Optimum - Komersial	-5.62000	5.65685	4.00000	-56.44482	45.20482	-1.405	1	.394
Total Energi	Optimum – Komersial	-.86500	.67175	.47500	-6.90045	5.17045	-1.821	1	.320
Serat Pangan	Optimum - Komersial	3.61000	.86267	.61000	-4.14078	11.36078	5.918	1	.107

Lampiran 9. Hasil uji normalitas tingkat kesukaan *flakes*

Descriptives

Sampel <i>flakes</i>			Statistic	Std. Error
<i>Flakes</i> formula optimum	Mean		6.13	.102
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	5.92	
		Upper Bound	6.33	
	5% Trimmed Mean		6.17	
	Median		6.00	
	Variance		.420	
	Std. Deviation		.648	
	Minimum		4	
	Maximum		7	
	Range		3	
	Interquartile Range		1	
	Skewness		-.716	.374
	Kurtosis		2.025	.733
<i>Flakes</i> komersial	Mean		5.08	.180
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	4.71	
		Upper Bound	5.44	
	5% Trimmed Mean		5.14	
	Median		5.00	
	Variance		1.302	
	Std. Deviation		1.141	
	Minimum		2	
	Maximum		7	
	Range		5	
	Interquartile Range		1	
	Skewness		-1.353	.374
	Kurtosis		2.465	.733

Tests of Normality

Sampel <i>flakes</i>		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Skor uji hedonik <i>flakes</i>	<i>Flakes</i> formula optimum	.326	40	.000	.750	40	.000
	<i>Flakes</i> komersial	.349	40	.000	.771	40	.000

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 10. Hasil uji wilcoxon *flakes* formula optimum dan *flakes* komersial

Ranks

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
<i>Flakes</i> komersial -	Negative Ranks	27 ^a	14.63	395.00
<i>Flakes</i> formula	Positive Ranks	1 ^b	11.00	11.00
optimum	Ties	12 ^c		
	Total	40		

a. *Flakes* komersial < *Flakes* formula optimum

b. *Flakes* komersial > *Flakes* formula optimum

c. *Flakes* komersial = *Flakes* formula optimum

Test Statistics^a

	<i>Flakes</i> komersial - <i>Flakes</i> formula optimum
Z	-4.609 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

**KUESIONER UJI SKORING
PRODUK *FLAKES***

Nama :
NIM :
Tanggal :

Instruksi/Petunjuk

Di hadapan Saudara telah disajikan *flakes* berbasis tepung sorgum modifikasi dengan penambahan tepung kelapa pada kondisi optimum. Saudara diminta untuk memberikan penilaian terhadap intensitas warna, tekstur (tingkat kerenyahan), rasa khas sorgum (*sorghum-like paste*), aroma kelapa, dan *mouthfeel* sesuai dengan skala parameter sensori yang telah ditentukan (1-7). Pengisian dilakukan dengan memberikan tanda ceklis pada kolom yang telah disediakan.

Intensitas warna

Intensitas	Skor	Penilaian
Kuning pucat	1	
Kuning muda	2	
Kuning	3	
Kuning kecokelatan	4	
Cokelat kekuningan	5	
Cokelat	6	
Cokelat tua	7	

Tekstur (Tingkat kerenyahan)

Intensitas	Skor	Penilaian
Sangat amat tidak renyah	1	
Sangat tidak renyah	2	
Tidak renyah	3	
Agak renyah	4	
Renyah	5	
Sangat renyah	6	
Sangat amat renyah	7	

Rasa khas sorgum (*Sorghum-like paste*)

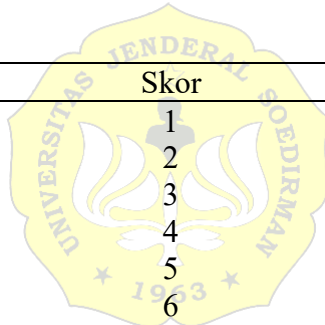
Intensitas	Skor	Penilaian
Sangat amat tidak kuat	1	
Sangat tidak kuat	2	
Tidak kuat	3	
Agak kuat	4	
Kuat	5	
Sangat kuat	6	
Sangat amat kuat	7	

Aroma Kelapa

Intensitas	Skor	Penilaian
Sangat amat tidak kuat	1	
Sangat tidak kuat	2	
Tidak kuat	3	
Agak kuat	4	
Kuat	5	
Sangat kuat	6	
Sangat amat kuat	7	

Mouthfeel

Intensitas	Skor	Penilaian
Sangat amat berpasir	1	
Sangat berpasir	2	
Berpasir	3	
Agak berpasir	4	
Tidak berpasir	5	
Sangat tidak berpasir	6	
Sangat amat tidak berpasir	7	



Lampiran 12. Lembar uji hedonik *flakes* formula optimum

KUESIONER UJI HEDONIK

Nama:

Tanggal:

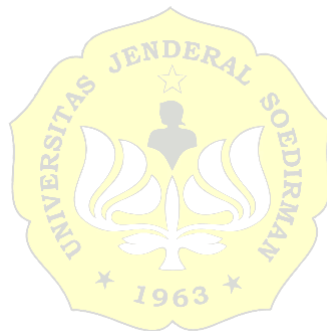
NIM:

Tanda Tangan:

Di hadapan Anda disajikan 1 sampel *flakes* formula optimum berbahan dasar tepung sorgum termodifikasi dan tepung kelapa. Anda diminta memberikan penilaian kesukaan terhadap atribut warna, tekstur, aroma, rasa, dan *overall* sampel dengan memberi tanda (√) pada kolom yang tersedia.

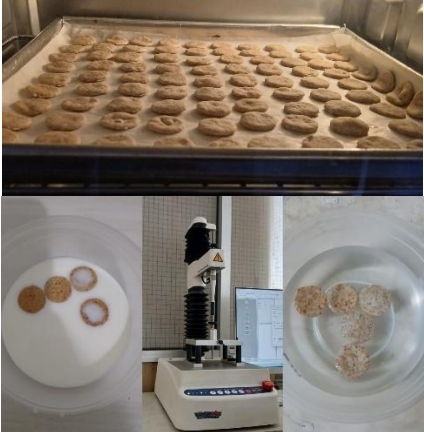
Atribut sensori	Skala numerik	Skala penilaian	Kode sampel
			546
Intensitas warna	1	Sangat tidak suka	
	2	Tidak suka	
	3	Agak tidak suka	
	4	Netral	
	5	Agak suka	
	6	Suka	
	7	Sangat suka	
Tekstur (Tingkat kerenyahan)	1	Sangat tidak suka	
	2	Tidak suka	
	3	Agak tidak suka	
	4	Netral	
	5	Agak suka	
	6	Suka	
	7	Sangat suka	
Aroma	1	Sangat tidak suka	
	2	Tidak suka	
	3	Agak tidak suka	
	4	Netral	
	5	Agak suka	
	6	Suka	
	7	Sangat suka	
Rasa	1	Sangat tidak suka	
	2	Tidak suka	
	3	Agak tidak suka	
	4	Netral	
	5	Agak suka	
	6	Suka	
	7	Sangat suka	
<i>Overall</i>	1	Sangat tidak suka	
	2	Tidak suka	

3	Agak tidak suka
4	Netral
5	Agak suka
6	Suka
7	Sangat suka



Lampiran 13. Dokumentasi kegiatan penelitian

No.	Dokumentasi	Keterangan
1.		Proses fermentasi sorgum
2.		Proses pengeringan sorgum fermentasi
3.		Karakterisasi tepung sorgum termodifikasi
4.		Persiapan alat dan bahan pembuatan <i>flakes</i>

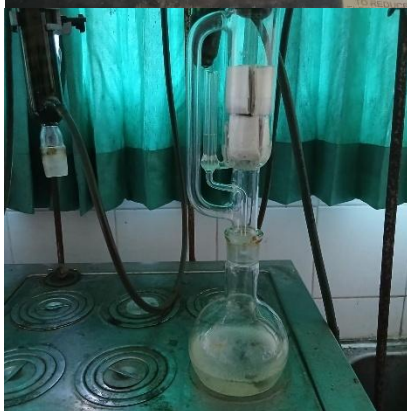
5.		Proses pembuatan <i>flakes</i>
6.		Pengujian respon dalam optimasi formula <i>flakes</i>
7.		Seleksi dan pelatihan panelis
8.		Uji organoleptik produk <i>flakes</i>
9.		Analisis kadar protein total metode kjeldahl

10.



Analisis kadar abu metode thermogravimetri

11.

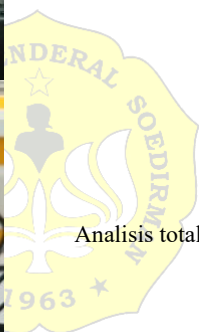


Analisis kadar lemak metode soxhlet

12.



Analisis total energi metode bomb calorimeter



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Batang, Jawa Tengah pada tanggal 16 September 2003 sebagai anak ke-4 dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Nofendi Budhi Sanyoto dan Ibu Johar Iswarin. Saat ini penulis bertempat tinggal di Griya Mukti Indah Gg. Melati D/145, Kecepak, Batang dengan nomor telepon 085865417972 dan e-mail nadhirafiani16@gmail.com. Penulis memulai pendidikan tingkat dasar di SD Negeri Proyonanggan 05 Batang lulus tahun 2015, kemudian melanjutkan ke jenjang tingkat menengah pertama di SMP Negeri 3 Batang lulus tahun 2018. Selanjutnya, jenjang pendidikan menengah atas lulus tahun 2021 di SMA Negeri 1 Batang sebelum melanjutkan ke Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, melalui program SNMPTN di tahun yang sama. Selama menempuh studi, penulis aktif mengikuti kegiatan non-akademik di HIMATETA, BIWARA, serta SEF. Pada tahun 2023, penulis berkesempatan memperoleh pendanaan Program Pembinaan Mahasiswa Wirausaha (P2MW) kategori makanan dan minuman. Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten praktikum pada mata kuliah Teknik Komunikasi Ilmiah dan Bisnis serta Praktikum Rekayasa Proses Pengolahan Pangan. Pada tahun 2024, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di PT. Boga Makmur Gracia, Kendal, program MBKM sebagai *Quality Control* di PT. So Good Food, Plant UHT, Boyolali dan dilanjutkan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada periode Juli-Agustus di Desa Pakuran, Kecamatan Buayan, Kabupaten Kebumen.