

INOVASI PEMBUATAN PIE CRUST DENGAN SUBSTITUSI TEPUNG KACANG HIJAU SEBAGAI ALTERNATIF CAMILAN SUMBER PROTEINAsep Yusuf¹¹Sekolah Tinggi Manajemen Pariwisata dan Logistik (STIM-PAL) Lentera LemondialEmail: asepfelt2305@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan penggunaan tepung kacang hijau (*Vigna radiata*) sebagai bahan substitusi sebagian tepung terigu dalam pembuatan pie crust, serta mengkaji pengaruhnya terhadap kualitas organoleptik dan kandungan protein produk yang dihasilkan. Latar belakang penelitian ini didasari oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap konsumsi makanan bergizi tinggi, khususnya produk berbasis protein nabati, serta besarnya potensi kacang hijau sebagai sumber protein lokal yang belum dimanfaatkan secara optimal dalam produk pastri. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu persentase substitusi tepung kacang hijau sebesar 0% (P0/kontrol), 25% (P1), 50% (P2), dan 75% (P3) dari total berat tepung, masing-masing dengan tiga kali ulangan. Pengujian meliputi uji organoleptik (hedonik) oleh 25 panelis semi terlatih terhadap parameter warna, aroma, rasa, dan tekstur, serta analisis kandungan protein dengan metode Kjeldahl. Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, ANOVA satu arah, uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT), dan uji efektivitas De Garmo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi tepung kacang hijau berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap seluruh parameter organoleptik dan kandungan protein pie crust. Skor kesukaan menurun seiring meningkatnya persentase substitusi, sementara kandungan protein meningkat secara konsisten dari 7,86% (P0) menjadi 16,52% (P3). Perlakuan P1 (substitusi 25%) ditetapkan sebagai formulasi terbaik karena tidak berbeda nyata dengan kontrol pada seluruh parameter organoleptik, namun memiliki kandungan protein 10,34% yang telah memenuhi klaim “sumber protein” sesuai standar BPOM RI, dengan tambahan biaya produksi yang sangat kecil (Rp69 per potong). Penelitian ini membuktikan bahwa tepung kacang hijau berpotensi dikembangkan sebagai bahan substitusi fungsional pada produk pie crust guna meningkatkan nilai gizi camilan berbasis bahan pangan lokal.

Kata kunci: Pie Crust, Tepung Kacang Hijau, Substitusi, Protein Nabati, Uji Organoleptik.

Abstract: This study aimed to test the feasibility of using mung bean flour (*Vigna radiata*) as a partial substitute for wheat flour in pie crust production and to assess its effect on the organoleptic quality and protein content of the resulting product. The research was motivated by increasing public awareness of the consumption of highly nutritious foods, particularly plant-based protein products, and the significant potential of mung beans as a local protein source that has not been optimally utilized in pastry products. The method used was an experimental design with a Completely Randomized Design (CRD), with a single factor of mung bean flour substitution at 0% (P0/control), 25% (P1), 50% (P2), and 75% (P3) of the total flour

weight, each with three replications. Testing included a hedonic organoleptic test by 25 semi-trained panelists on color, aroma, taste, and texture, as well as protein content analysis using the Kjeldahl method. Data were analyzed using the Shapiro-Wilk normality test, one-way ANOVA, Duncan's Multiple Range Test (DMRT), and the De Garmo effectiveness test. The results showed that mung bean flour substitution had a highly significant effect ($p < 0.01$) on all organoleptic parameters and the protein content of the pie crust. Preference scores decreased as the substitution percentage increased, while protein content increased consistently from 7.86% (P0) to 16.52% (P3). Treatment P1 (25% substitution) was determined to be the best formulation, as it did not differ significantly from the control on any organoleptic parameter, while having a protein content of 10.34% that met the "source of protein" claim under Indonesian BPOM standards, with only a marginal increase in production cost (IDR69 per piece). This study demonstrates that mung bean flour has potential as a functional substitute ingredient in pie crust to increase the nutritional value of local-based snack products.

Keywords: Pie Crust, Mung Bean Flour, Substitution, Vegetable Protein, Organoleptic Test.

PENDAHULUAN

Camilan merupakan bagian penting dari pola konsumsi masyarakat modern yang terus berkembang. Tingginya permintaan terhadap produk camilan yang tidak hanya lezat tetapi juga bergizi mendorong para pelaku industri pangan dan peneliti untuk terus berinovasi dalam pengembangan produk makanan fungsional. Salah satu produk yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah pie crust, yaitu kulit pie yang umumnya dijadikan dasar berbagai jenis hidangan manis maupun gurih.

Pie crust secara konvensional dibuat menggunakan tepung terigu sebagai bahan utamanya. Tepung terigu mengandung gluten yang berperan dalam pembentukan tekstur renyah dan struktur adonan yang khas. Namun, tepung terigu memiliki kandungan protein yang relatif rendah, yakni berkisar antara 8–13%, sehingga kurang optimal apabila dikonsumsi sebagai sumber protein. Di sisi lain, kebutuhan masyarakat akan produk pangan tinggi protein semakin meningkat seiring dengan kesadaran gizi yang kian berkembang, terutama di kalangan generasi muda dan komunitas gaya hidup sehat.

Kacang hijau (*Vigna radiata* L.) merupakan salah satu komoditas pangan lokal Indonesia yang kaya akan kandungan gizi. Kacang hijau mengandung protein sebesar 22–24% per 100 gram, jauh lebih tinggi dibandingkan tepung terigu. Selain protein, kacang hijau juga mengandung serat pangan, vitamin B kompleks, zat besi, dan antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Tepung kacang hijau yang diperoleh melalui proses penggilingan biji

kacang hijau kering berpotensi dijadikan bahan substitusi parsial dalam pembuatan produk bakeri, termasuk pie crust, guna meningkatkan nilai gizi produk tersebut.

Substitusi tepung terigu dengan tepung kacang hijau dalam pembuatan pie crust diharapkan dapat menghasilkan produk yang memiliki kandungan protein lebih tinggi tanpa mengorbankan kualitas organoleptik seperti warna, aroma, rasa, dan tekstur. Namun demikian, penggunaan tepung kacang hijau juga membawa tantangan tersendiri, mengingat tepung kacang hijau tidak mengandung gluten sehingga dapat memengaruhi karakteristik fisik adonan dan produk akhir. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian dengan berbagai tingkat substitusi untuk menemukan formulasi yang paling optimal.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan, yaitu: (1) rendahnya kandungan protein pada camilan konvensional berbahan dasar tepung terigu; (2) ketergantungan industri bakeri Indonesia pada tepung terigu yang merupakan bahan impor; (3) kurangnya pemanfaatan kacang hijau sebagai sumber protein nabati lokal dalam produk olahan bakeri; (4) belum optimalnya pengembangan tepung kacang hijau sebagai bahan substitusi pada produk pie crust; (5) adanya perbedaan karakteristik fisik antara tepung terigu dan tepung kacang hijau, terutama ketiadaan gluten, yang dapat memengaruhi tekstur dan struktur produk; serta (6) belum diketahuinya persentase substitusi yang optimal untuk menghasilkan pie crust dengan kualitas organoleptik yang dapat diterima sekaligus kandungan protein yang tinggi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) bagaimana pengaruh substitusi tepung kacang hijau terhadap sifat fisik pie crust yang dihasilkan; (2) bagaimana pengaruh substitusi tepung kacang hijau terhadap sifat organoleptik (warna, aroma, rasa, dan tekstur) pie crust; serta (3) berapa persentase substitusi tepung kacang hijau yang paling optimal untuk menghasilkan pie crust dengan kualitas terbaik dan kandungan protein tertinggi. Tujuan umum penelitian ini adalah menganalisis dampak substitusi tepung kacang hijau terhadap kualitas pie crust sebagai alternatif camilan sumber protein, dengan tujuan khusus meliputi analisis dampak berbagai tingkat substitusi terhadap sifat fisik dan organoleptik pie crust, serta penentuan formulasi substitusi yang paling optimal ditinjau dari aspek kualitas fisik, organoleptik, dan kandungan protein.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa dalam mengembangkan kompetensi akademik di bidang teknologi pangan, mendorong pemikiran inovatif dalam pengembangan produk pangan fungsional bernilai gizi dan ekonomi tinggi,

serta memberikan kontribusi keilmuan bagi pengembangan penelitian lanjutan mengenai inovasi produk berbasis bahan pangan lokal. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pembuatan pie crust dengan substitusi tepung kacang hijau terhadap tepung terigu protein rendah (soft wheat flour) pada persentase 0%, 25%, 50%, dan 75% dari total berat tepung, dengan penilaian kualitas produk meliputi sifat organoleptik dan kandungan protein produk akhir, tanpa mengkaji aspek ekonomi skala industri, umur simpan, maupun skala produksi secara komersial.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pie Crust

Pie crust atau kulit pie adalah lapisan adonan tipis yang dibuat dari campuran tepung, lemak, cairan, dan garam, yang berfungsi sebagai wadah atau dasar dari berbagai isian pie baik manis maupun gurih. Pie crust yang berkualitas baik memiliki karakteristik renyah, mudah patah (flaky), berwarna kecokelatan merata, serta memiliki aroma khas akibat proses pemanggangan. Berdasarkan teksturnya, pie crust dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu flaky pie crust yang memiliki lapisan-lapisan tipis dan mudah hancur saat digigit, serta mealy pie crust yang bertekstur lebih padat dan tidak berlapis, cocok digunakan sebagai wadah isian basah agar tidak mudah lembek. Proses pembuatan pie crust melibatkan tahapan pencampuran bahan kering, penambahan lemak dingin, penambahan cairan dingin, pembentukan adonan, dan pemanggangan pada suhu 180–200°C (Faridah et al., 2008).

2. Tepung Terigu

Tepung terigu diperoleh melalui proses penggilingan biji gandum (*Triticum aestivum*). Tepung terigu merupakan bahan utama dalam pembuatan berbagai produk bakeri karena mengandung protein gluten, yaitu glutenin dan gliadin, yang apabila bertemu air akan membentuk jaringan elastis yang memberikan struktur pada adonan. Berdasarkan kandungan proteinnya, tepung terigu dibedakan menjadi tepung protein tinggi/hard flour (12–14%) yang cocok untuk roti dan mi, tepung protein sedang/medium flour (10–11%) untuk keperluan umum, dan tepung protein rendah/soft flour (8–9%) yang cocok untuk kue kering, biskuit, dan pie crust karena menghasilkan tekstur renyah dan pembentukan gluten yang minimal (Faridah et al., 2008). Tepung terigu protein rendah mengandung energi 360 kkal, protein 8,0–9,0 g,

lemak 1,3 g, karbohidrat 77,3 g, dan serat pangan 2,7 g per 100 gram (Kementerian Kesehatan RI, 2017; Badan Standardisasi Nasional, 2011).

3. Tepung Kacang Hijau

Tepung kacang hijau merupakan produk olahan hasil pengeringan dan penggilingan biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.) hingga menjadi serbuk halus, dengan warna hijau kekuningan, aroma khas, dan tekstur lebih halus dibandingkan tepung kacang-kacangan lainnya. Proses pembuatannya meliputi sortasi dan pencucian biji, pengeringan pada suhu 50–60°C selama 6–8 jam, penggilingan menggunakan disc mill atau blender, pengayakan 80 mesh, serta pengemasan pada tempat kering (Mulyani & Khasanah, 2017). Menurut Suprpti (2010), tepung kacang hijau memiliki kandungan protein 22–24% per 100 gram, energi 345 kkal, lemak 1,2 g, karbohidrat 62,9 g, dan serat pangan 7,6 g, jauh lebih tinggi dibandingkan tepung terigu. Ketiadaan gluten pada tepung kacang hijau menjadi tantangan tersendiri dalam formulasi adonan, namun dapat diatasi dengan penyesuaian jumlah cairan dan lemak dalam formulasi. Pada produk pie crust, substitusi tepung non-gluten dimungkinkan karena pie crust tidak memerlukan pengembangan adonan yang bergantung pada jaringan gluten, berbeda dengan roti atau cake.

4. Substitusi Tepung dalam Produk Bakeri

Substitusi tepung adalah penggantian sebagian atau seluruh tepung terigu dengan jenis tepung lain dalam formulasi produk bakeri, baik secara parsial maupun penuh, tergantung karakteristik produk yang diinginkan. Faktor yang perlu diperhatikan dalam substitusi tepung meliputi kandungan protein yang memengaruhi nilai gizi produk akhir, kandungan gluten yang memengaruhi elastisitas dan struktur adonan, ukuran partikel tepung yang memengaruhi tekstur dan kehalusan produk, kandungan lemak yang memengaruhi kerenyahan dan umur simpan, serta warna dan aroma tepung yang memengaruhi penampilan dan cita rasa produk.

5. Uji Organoleptik

Uji organoleptik adalah metode pengujian kualitas produk pangan menggunakan indera manusia sebagai alat ukur utama, dengan parameter yang dinilai meliputi warna, aroma, rasa, dan tekstur (Soekarto, 2012). Penelitian ini menggunakan uji hedonik (uji kesukaan), yaitu metode penilaian di mana panelis memberikan penilaian berdasarkan tingkat kesukaan

terhadap produk, dengan skala 1 (sangat tidak suka) hingga 5 (sangat suka) (Setyaningsih et al., 2010).

6. Protein dan Perannya bagi Kesehatan

Protein merupakan makronutrien esensial yang berperan penting dalam berbagai fungsi biologis tubuh, antara lain sebagai zat pembangun jaringan, pengatur metabolisme, pembentuk enzim dan hormon, serta sumber energi cadangan. Kebutuhan protein harian orang dewasa menurut Angka Kecukupan Gizi (AKG) Indonesia adalah sebesar 60–65 gram per hari (Kementerian Kesehatan RI, 2019). Produk pangan sumber protein semakin diminati masyarakat seiring tumbuhnya kesadaran terhadap pola konsumsi yang higienis dan bergizi, sehingga pengembangan camilan sumber protein berbasis bahan lokal seperti kacang hijau menjadi solusi yang relevan untuk memenuhi kebutuhan tersebut secara terjangkau dan berkelanjutan.

7. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji substitusi tepung kacang hijau maupun tepung non-gluten lainnya pada produk bakeri. Widyaningsih et al. (2019) melaporkan bahwa substitusi tepung kacang hijau hingga 40% pada cookies masih dapat diterima panelis. Rahmawati dan Sutrisno (2020) menemukan bahwa substitusi tepung kacang hijau pada biskuit meningkatkan kandungan protein namun menurunkan skor tekstur pada substitusi di atas 20%. Handayani et al. (2021) mengkaji fortifikasi tepung kacang hijau pada mi dan menemukan peningkatan daya serap air seiring meningkatnya substitusi. Sari dan Purnomo (2018) meneliti pie crust dengan substitusi tepung ubi jalar ungu dan menyimpulkan batas substitusi non-gluten yang masih dapat diterima berada pada kisaran 30%. Oktaviani et al. (2022) membandingkan pie crust dengan substitusi tepung kacang merah dan menemukan substitusi hingga 50% masih dapat diterima panelis. Penelitian-penelitian tersebut menjadi acuan penting dalam menentukan rentang persentase substitusi pada penelitian ini.

8. Kerangka Berpikir

Kebutuhan masyarakat akan produk pangan yang tidak hanya lezat tetapi juga bergizi semakin meningkat, khususnya produk camilan sumber protein. Pie crust sebagai salah satu produk bakeri populer umumnya dibuat dari tepung terigu yang memiliki kandungan protein rendah, sehingga kurang optimal sebagai sumber protein. Kacang hijau merupakan komoditas

pangan lokal Indonesia yang kaya protein (22–24%) dan mudah didapat dengan harga terjangkau. Pengolahan kacang hijau menjadi tepung membuka peluang pemanfaatannya sebagai bahan substitusi tepung terigu dalam produk bakeri, termasuk pie crust. Namun, tepung kacang hijau tidak mengandung gluten sehingga berpotensi memengaruhi karakteristik fisik dan organoleptik produk. Oleh karena itu, diperlukan eksperimen dengan berbagai tingkat substitusi (0%, 25%, 50%, 75%) yang dievaluasi melalui uji organoleptik dan uji kandungan protein, untuk menemukan formulasi pie crust optimal sebagai alternatif camilan tinggi protein berbasis bahan pangan lokal.

9. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teori dan penelitian relevan, hipotesis penelitian ini adalah: (1) substitusi tepung kacang hijau berpengaruh nyata terhadap warna, aroma, rasa, dan tekstur pie crust; (2) substitusi tepung kacang hijau berpengaruh nyata terhadap kandungan protein pie crust, dengan semakin tinggi persentase substitusi maka semakin tinggi kandungan proteinnya; dan (3) terdapat persentase substitusi optimal, diduga pada kisaran 25–50%, yang menghasilkan pie crust dengan kualitas organoleptik terbaik sekaligus kandungan protein yang lebih tinggi dibandingkan kontrol.

METODE PENELITIAN

1) Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berlandaskan paradigma positivisme, dengan metode eksperimen untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara variasi formulasi substitusi terhadap mutu produk akhir. Desain penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu persentase substitusi tepung kacang hijau terhadap tepung terigu protein rendah, yang terdiri atas empat taraf perlakuan: P0 (0%, kontrol), P1 (25%), P2 (50%), dan P3 (75%) dari total berat tepung, masing-masing dengan tiga kali ulangan, sehingga diperoleh 12 unit percobaan. RAL dipilih karena kondisi lingkungan penelitian dianggap homogen dan setiap unit percobaan mendapat perlakuan yang sama secara acak. Model matematis RAL yang digunakan adalah $Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$, dengan Y_{ij} adalah nilai pengamatan pada perlakuan ke- i ulangan ke- j , μ adalah nilai tengah umum, τ_i adalah pengaruh perlakuan ke- i , dan e_{ij} adalah pengaruh galat percobaan.

2) Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama yang digunakan meliputi tepung terigu protein rendah, tepung kacang hijau hasil penggilingan kacang hijau kering varietas lokal yang diayak dengan ayakan 80 mesh (0,177 mm), margarin dingin, gula halus, garam, kuning telur, dan air es. Formulasi dasar (kontrol) yang digunakan adalah 200 g tepung terigu, 100 g margarin dingin, 30 g gula halus, 2 g garam, 20 g kuning telur, dan 30 ml air es. Substitusi tepung kacang hijau dilakukan hanya pada komponen tepung, sedangkan bahan lain dipertahankan tetap pada setiap perlakuan, dengan penyesuaian jumlah air es secara bertahap (30, 35, 40, dan 45 ml pada P0, P1, P2, dan P3) karena tepung kacang hijau memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan tepung terigu. Rincian formulasi selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi Pie Crust pada Setiap Taraf Perlakuan Substitusi Tepung Kacang Hijau

Bahan	P0 (0%)	P1 (25%)	P2 (50%)	P3 (75%)
Tepung terigu (g)	200	150	100	50
Tepung kacang hijau (g)	0	50	100	150
Margarin dingin (g)	100	100	100	100
Gula halus (g)	30	30	30	30
Garam (g)	2	2	2	2
Kuning telur (g)	20	20	20	20
Air es (ml)	30	35	40	45

Peralatan yang digunakan selama penelitian meliputi ayakan 80 mesh untuk menyaring tepung kacang hijau, timbangan digital dengan ketelitian 1 gram untuk menimbang bahan baku, mixing bowl sebagai wadah pencampuran adonan, pastry cutter untuk memotong lemak dingin ke dalam tepung, garpu untuk membantu pencampuran dan menusuk permukaan adonan, plastik wrap untuk membungkus adonan saat resting, rolling pin untuk menggiling adonan hingga ketebalan ± 3 mm, cetakan pie dengan bagian dasar yang dapat dilepas

(removable bottom), serta oven pemanggangan dengan pengatur suhu (thermostat) yang akurat untuk memanggang pada suhu 180°C.

3) Populasi, Sampel, dan Panelis

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pie crust yang dibuat dari kombinasi tepung terigu dan tepung kacang hijau dengan berbagai persentase substitusi. Sampel penelitian adalah pie crust yang dihasilkan dari empat formulasi perlakuan (P0, P1, P2, P3) dengan masing-masing tiga kali ulangan, di mana setiap ulangan menghasilkan satu loyang pie crust yang kemudian dipotong menjadi beberapa bagian untuk keperluan uji organoleptik dan analisis kandungan protein.

Panelis yang dilibatkan dalam uji organoleptik berjumlah 25 orang panelis semi terlatih, yaitu mahasiswa program studi Tata Boga atau Teknologi Pangan yang telah mendapatkan pembekalan dasar mengenai cara melakukan penilaian organoleptik secara objektif dan konsisten. Kriteria panelis meliputi sehat jasmani dan tidak sedang mengalami gangguan indera perasa maupun penciuman, tidak memiliki alergi terhadap kacang hijau atau bahan lain yang digunakan, bersedia mengikuti seluruh rangkaian uji organoleptik, serta telah mendapatkan pelatihan dasar uji organoleptik.

4) Prosedur Pembuatan Pie Crust

Proses pembuatan pie crust mengikuti prosedur standar (Standard Operating Procedure) sebagai berikut:

1. Persiapan bahan (± 15 menit): menimbang seluruh bahan sesuai formulasi masing-masing perlakuan menggunakan timbangan digital, memotong margarin menjadi dadu kecil ± 1 cm dan menyimpannya dalam freezer selama 15 menit, serta menyiapkan air es dalam wadah tertutup.
2. Pencampuran bahan kering (± 15 menit): mengayak tepung terigu dan tepung kacang hijau bersama-sama dalam mixing bowl, kemudian menambahkan gula halus dan garam, diaduk rata menggunakan spatula.
3. Penambahan lemak (± 10 menit): memasukkan margarin dingin ke dalam campuran tepung, meremas menggunakan ujung jari hingga campuran menyerupai remahan pasir kasar (coarse breadcrumb), dengan menghindari peremasan terlalu lama agar margarin tidak meleleh akibat panas tangan.

4. Pembentukan adonan (± 5 menit): menambahkan kuning telur dan air es sedikit demi sedikit sambil diaduk menggunakan garpu hingga adonan menyatu, dapat dipulung, dan tidak lengket di tangan, kemudian dibentuk menjadi bulatan pipih dan dibungkus plastik wrap.
5. Resting adonan (± 30 menit): menyimpan adonan dalam lemari pendingin bersuhu 4°C untuk mengistirahatkan adonan dan memudahkan proses penggilingan.
6. Pembentukan dan pencetakan (± 10 menit): menggiling adonan di atas permukaan bertabur tepung tipis, meletakkannya pada cetakan pie, menekan mengikuti bentuk cetakan, memotong kelebihan adonan, dan menusuk permukaan dengan garpu untuk mencegah adonan menggelembung saat dipanggang.
7. Pemanggangan (20–25 menit): memanaskan oven pada suhu 180°C selama 10 menit (preheating), memanggang adonan hingga permukaan berwarna kuning kecokelatan, dengan pemeriksaan kematangan setiap 5 menit untuk menghindari gosong.
8. Pendinginan (± 30 menit): mendinginkan pie crust pada suhu ruang tanpa ditutup agar kerenyahan tetap terjaga, sebelum dilakukan pengujian.

5) Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Instrumen uji organoleptik yang digunakan adalah formulir uji hedonik yang memuat identitas panelis, kode sampel, parameter penilaian (warna, aroma, rasa, tekstur), serta skala penilaian 1–5. Instrumen uji kandungan protein menggunakan metode Kjeldahl dengan peralatan labu Kjeldahl, alat destruksi, alat destilasi, buret titrasi, dan neraca analitik. Data primer diperoleh dari hasil penilaian panelis dan hasil analisis laboratorium, sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur berupa jurnal ilmiah, buku teks, hasil penelitian terdahulu, serta data komposisi gizi bahan baku dari Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI).

6) Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara bertahap. Pertama, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan nilai rata-rata dan standar deviasi setiap parameter pada masing-masing perlakuan. Kedua, uji normalitas Shapiro-Wilk dilakukan untuk memastikan data terdistribusi normal sebagai syarat penggunaan uji parametrik. Ketiga, Analysis of Variance (ANOVA) satu arah digunakan untuk mengetahui perbedaan nyata antarperlakuan pada taraf signifikansi

$\alpha = 0,05$, dengan kaidah keputusan: apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau $p\text{-value} < 0,05$ maka H_0 ditolak (terdapat pengaruh nyata), dan apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ atau $p\text{-value} \geq 0,05$ maka H_0 diterima (tidak terdapat pengaruh nyata). Keempat, apabila ANOVA menunjukkan perbedaan nyata, dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf $\alpha = 0,05$ untuk mengetahui perlakuan mana yang berbeda signifikan. Kelima, uji efektivitas De Garmo digunakan untuk menentukan perlakuan terbaik secara keseluruhan berdasarkan kombinasi seluruh parameter yang diuji, dengan pembobotan nilai pada setiap parameter sesuai tingkat kepentingannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Adonan

Pengamatan terhadap karakteristik adonan dilakukan sebelum proses pemanggangan untuk menganalisis pengaruh substitusi tepung kacang hijau terhadap sifat fisik adonan. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Karakteristik Adonan Pie Crust

Aspek Pengamatan	P0 (0%)	P1 (25%)	P2 (50%)	P3 (75%)
Warna adonan	Putih kekuningan	Putih kehijauan	Hijau kekuningan	Hijau tua
Konsistensi	Lembut, mudah dipulung	Lembut, sedikit kasar	Agak kasar, mudah retak	Kasar, mudah retak
Kemudahan penggilingan	Sangat mudah	Mudah	Cukup mudah	Agak sulit
Kemudahan pencetakan	Sangat mudah	Mudah	Cukup mudah	Agak sulit
Aroma adonan	Tidak berbau khas	Sedikit beraroma kacang	Beraroma kacang hijau	Beraroma kacang hijau kuat
Daya rekat adonan	Baik	Baik	Cukup baik	Kurang baik

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa semakin tinggi persentase substitusi tepung kacang hijau, warna adonan semakin hijau akibat kandungan klorofil pada tepung kacang hijau. Konsistensi adonan pada P2 dan P3 cenderung lebih kasar dan mudah retak dibandingkan P0 dan P1, disebabkan oleh tidak adanya gluten pada tepung kacang hijau sehingga kemampuan adonan membentuk jaringan elastis berkurang. Penambahan air es yang lebih banyak pada P2 dan P3 membantu memperbaiki konsistensi adonan meskipun tidak sepenuhnya menyamai karakteristik adonan berbasis tepung terigu.

B. Karakteristik Produk Jadi

Pengamatan terhadap karakteristik produk jadi dilakukan setelah proses pemanggangan untuk menganalisis perubahan karakteristik fisik pie crust. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Karakteristik Produk Jadi Pie Crust

Aspek Pengamatan	P0 (0%)	P1 (25%)	P2 (50%)	P3 (75%)
Warna permukaan	Kuning kecokelatan	Kuning kecokelatan kehijauan	Cokelat kehijauan	Cokelat tua kehijauan
Kerataan warna	Merata	Merata	Cukup merata	Kurang merata
Kondisi permukaan	Rata, halus	Rata, sedikit kasar	Agak kasar	Kasar, sedikit retak
Tekstur	Renyah, mudah patah	Renyah, mudah patah	Cukup renyah	Kurang renyah, agak keras
Aroma	Harum khas bakeri	Harum, sedikit beraroma kacang	Beraroma kacang hijau	Aroma kacang hijau dominan
Penampilan keseluruhan	Sangat baik	Baik	Cukup baik	Kurang baik

Substitusi tepung kacang hijau memberikan perubahan karakteristik yang nyata terhadap produk jadi pie crust. Perubahan warna yang semakin gelap pada P2 dan P3 dipengaruhi oleh kandungan klorofil dari tepung kacang hijau dan intensifikasi reaksi Maillard akibat kandungan protein yang lebih tinggi. Tekstur pie crust pada P3 yang kurang renyah dibandingkan perlakuan lainnya disebabkan oleh tidak adanya gluten yang berfungsi membentuk struktur adonan kompak namun tetap renyah setelah dipanggang.

C. Hasil Uji Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan oleh 25 orang panelis semi terlatih terhadap empat parameter, yaitu warna, aroma, rasa, dan tekstur.

a. Parameter Warna

Tabel 4. Hasil Uji Hedonik Parameter Warna ($F_{hitung} = 28,47$; $Sig. = 0,000$)

Perlakuan	Substitusi TKH	Skor Rata-rata	SD	Kategori	Notasi DMRT
P0	0%	4,32	$\pm 0,48$	Suka	a
P1	25%	4,16	$\pm 0,55$	Suka	a
P2	50%	3,64	$\pm 0,64$	Netral–Suka	b
P3	75%	2,88	$\pm 0,73$	Tidak Suka–Netral	c

Hasil analisis ANOVA membuktikan bahwa substitusi tepung kacang hijau memberikan dampak signifikan terhadap warna pie crust ($p < 0,01$). Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa P0 dan P1 tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya berbeda nyata dengan P2 dan P3. Perubahan warna yang semakin gelap dan kehijauan pada P2 dan P3 disebabkan oleh kandungan klorofil dari tepung kacang hijau dan intensifikasi reaksi Maillard akibat kandungan protein yang lebih tinggi selama pemanggangannya. Substitusi 25% (P1) belum menghasilkan perubahan warna yang signifikan sehingga masih dapat diterima panelis dengan skor setara P0.

b. Parameter Aroma

Tabel 5. Hasil Uji Hedonik Parameter Aroma (F hitung = 25,83; Sig. = 0,000)

Perlakuan	Substitusi TKH	Skor Rata-rata	SD	Kategori	Notasi DMRT
P0	0%	4,24	±0,52	Suka	a
P1	25%	4,08	±0,57	Suka	a
P2	50%	3,52	±0,65	Netral–Suka	b
P3	75%	2,76	±0,78	Tidak Suka–Netral	c

Substitusi tepung kacang hijau berpengaruh sangat nyata terhadap aroma pie crust ($p < 0,01$). Aroma langu (beany flavor) yang berasal dari aktivitas enzim lipoksigenase pada kacang hijau mulai terdeteksi panelis pada P2 dan semakin dominan pada P3. Pada P1, aroma kacang hijau belum terlalu terasa sehingga panelis masih memberikan penilaian yang baik. Proses pemanggangan pada suhu 180°C belum sepenuhnya mampu mengeliminasi aroma langu pada substitusi tinggi.

c. Parameter Rasa

Tabel 6. Hasil Uji Hedonik Parameter Rasa (F hitung = 22,16; Sig. = 0,000)

Perlakuan	Substitusi TKH	Skor Rata-rata	SD	Kategori	Notasi DMRT
P0	0%	4,40	±0,50	Suka	a
P1	25%	4,20	±0,58	Suka	a
P2	50%	3,72	±0,61	Suka–Netral	b
P3	75%	3,04	±0,79	Netral	c

Parameter rasa menunjukkan hasil yang relatif lebih toleran terhadap substitusi dibandingkan parameter lainnya. P2 masih memperoleh skor 3,72 dengan kategori antara suka

dan netral, menunjukkan bahwa rasa pie crust substitusi 50% masih cukup dapat diterima. Penurunan skor pada P3 disebabkan oleh rasa kacang hijau yang terlalu dominan dan munculnya sedikit rasa pahit akibat kandungan tanin pada tepung kacang hijau yang belum seluruhnya terdegradasi selama pemanggangan.

d. Parameter Tekstur

Tabel 7. Hasil Uji Hedonik Parameter Tekstur (F hitung = 31,62; Sig. = 0,000)

Perlakuan	Substitusi TKH	Skor Rata-rata	SD	Kategori	Notasi DMRT
P0	0%	4,48	±0,51	Suka	a
P1	25%	4,28	±0,54	Suka	a
P2	50%	3,80	±0,58	Suka–Netral	b
P3	75%	2,96	±0,73	Tidak Suka–Netral	c

Tekstur merupakan parameter yang paling sensitif terhadap substitusi tepung kacang hijau, ditunjukkan dengan nilai F hitung tertinggi (31,62) dibandingkan parameter lainnya. Penurunan kerenyahan pada P3 disebabkan oleh hilangnya jaringan gluten yang berperan dalam membentuk struktur adonan yang kompak namun tetap renyah setelah dipanggang. P1 dan P2 masih mempertahankan tekstur renyah yang dapat diterima karena kandungan gluten dari tepung terigu yang tersisa masih cukup untuk membentuk struktur dasar pie crust.

e. Rekapitulasi Uji Organoleptik dan Uji Efektivitas

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Uji Organoleptik Pie Crust (angka diikuti huruf sama pada kolom sama = tidak berbeda nyata, $\alpha=0,05$)

Perlakuan	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur	Rata-rata	Kategori
P0	4,32a	4,24a	4,40a	4,48a	4,36	Suka

Perlakuan	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur	Rata-rata	Kategori
P1	4,16a	4,08a	4,20a	4,28a	4,18	Suka
P2	3,64b	3,52b	3,72b	3,80b	3,67	Suka–Netral
P3	2,88c	2,76c	3,04c	2,96c	2,91	Tidak Suka–Netral

**Tabel 9. Hasil Uji Efektivitas De Garmo (Ne = Nilai Efektivitas; NH = Nilai Hasil).
Total NH: P0=1,000 (peringkat 1); P1=0,873 (peringkat 2); P2=0,516 (peringkat 3);
P3=0,000 (peringkat 4)**

Parameter	Bobot	Ne P0	NH P0	Ne P1	NH P1	Ne P2	NH P2	Ne P3	NH P3
Tekstur	0,30	1,000	0,300	0,868	0,260	0,553	0,166	0,000	0,000
Rasa	0,30	1,000	0,300	0,868	0,260	0,500	0,150	0,000	0,000
Aroma	0,20	1,000	0,200	0,872	0,174	0,507	0,101	0,000	0,000
Warna	0,20	1,000	0,200	0,893	0,179	0,493	0,099	0,000	0,000

Berdasarkan uji efektivitas, urutan perlakuan dari terbaik ke terendah adalah $P0 > P1 > P2 > P3$. Namun demikian, mengingat tujuan penelitian adalah menghasilkan pie crust sumber protein dengan kualitas organoleptik yang masih dapat diterima, maka P1 ditetapkan sebagai perlakuan terbaik karena memiliki nilai hedonik yang tidak berbeda nyata dengan P0 namun dengan kandungan protein yang jauh lebih tinggi.

D. Hasil Analisis Kandungan Gizi

1. Kandungan Protein

Tabel 10. Hasil Analisis Kandungan Protein Pie Crust dengan Metode Kjeldahl (F hitung = 486,73; Sig. = 0,000)

Perlakuan	Substitusi TKH	Rata-rata Protein (%)	SD	Notasi DMRT
P0	0%	7,86	±0,05	d
P1	25%	10,34	±0,07	c
P2	50%	13,16	±0,08	b
P3	75%	16,52	±0,09	a

Hasil ANOVA membuktikan bahwa substitusi tepung kacang hijau memberikan dampak sangat signifikan pada kandungan protein pie crust ($p < 0,01$), dengan nilai F hitung tertinggi di antara seluruh parameter yang diuji. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa seluruh perlakuan berbeda nyata satu sama lain, artinya setiap peningkatan 25% substitusi tepung kacang hijau secara konsisten meningkatkan kandungan protein secara signifikan, yaitu meningkat 31,55% pada P1, 67,43% pada P2, dan 110,18% pada P3 dibandingkan kontrol.

2. Kandungan Gizi Lengkap dan Klaim Label Gizi

Tabel 11. Perkiraan Kandungan Gizi Pie Crust per 100 gram (dihitung berdasarkan komposisi bahan baku menggunakan TKPI)

Komponen Gizi	P0 (0%)	P1 (25%)	P2 (50%)	P3 (75%)	Satuan
Energi	412	408	403	398	kcal
Protein	7,86	10,34	13,16	16,52	g
Lemak	18,42	17,89	17,36	16,83	g
Karbohidrat	56,34	54,28	52,17	50,06	g
Serat	1,24	2,18	3,12	4,06	g

Komponen Gizi	P0 (0%)	P1 (25%)	P2 (50%)	P3 (75%)	Satuan
Kalsium	18,5	28,3	38,1	47,9	mg
Zat Besi	1,2	2,1	3,0	3,9	mg

Berdasarkan ketentuan Peraturan BPOM RI mengenai Acuan Label Gizi (ALG) dengan total kebutuhan protein harian 60 gram, kategori klaim “sumber/mengandung protein” mensyaratkan kandungan protein $\geq 10\%$ ALG (6 gram) per 100 gram produk padat, sedangkan kategori “tinggi/kaya protein” mensyaratkan $\geq 20\%$ ALG (12 gram) per 100 gram. Berdasarkan kriteria tersebut, P1 (10,34% protein) telah memenuhi klaim “sumber protein”, sedangkan P2 (13,16%) dan P3 (16,52%) bahkan telah memenuhi kategori “tinggi/kaya protein”. Produsen juga dapat mengklaim produk sebagai “Ditingkatkan”, “Lebih”, atau “Ekstra” apabila perbedaan relatif kandungan protein terhadap produk pembandingan minimal 10% ALG (setara 6 gram) dan tidak memuat klaim yang merendahkan produk pangan lain.

3. Kontribusi Gizi Per Sajian

Tabel 12. Kontribusi Gizi Per Sajian (1 potong pie crust ± 45 gram) Berdasarkan AKG Permenkes RI No. 28 Tahun 2019

Komponen Gizi	P0	P1	P2	P3	AKG Dewasa	% AKG (P1)
Energi (kkal)	185	184	181	179	2.150	8,6%
Protein (g)	3,5	4,7	5,9	7,4	60	7,8%
Lemak (g)	8,3	8,1	7,8	7,6	67	12,1%
Karbohidrat (g)	25,4	24,4	23,5	22,5	325	7,5%
Serat (g)	0,6	1,0	1,4	1,8	37	2,7%
Zat Besi (mg)	0,5	0,9	1,4	1,8	26	3,5%

E. Hasil Analisis Biaya Produksi

Analisis biaya produksi dilakukan untuk mengetahui kelayakan ekonomi dari setiap formulasi. Rincian biaya bahan baku per loyang disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rincian Biaya Bahan Baku Per Perlakuan (Per Loyang)

Bahan	P0	P1	P2	P3
Tepung terigu	Rp2.800	Rp2.100	Rp1.400	Rp700
Tepung kacang hijau	Rp0	Rp1.250	Rp2.500	Rp3.750
Margarin	Rp8.000	Rp8.000	Rp8.000	Rp8.000
Gula halus	Rp480	Rp480	Rp480	Rp480
Garam	Rp40	Rp40	Rp40	Rp40
Kuning telur	Rp2.500	Rp2.500	Rp2.500	Rp2.500
Total Bahan Baku	Rp13.820	Rp14.370	Rp14.920	Rp15.470

Tabel 14. Rekapitulasi Total Biaya Produksi dan Harga Jual Per Perlakuan (Gross Margin 40%: harga jual P0–P2 = Rp5.500/potong; P3 = Rp6.000/potong)

Komponen	P0	P1	P2	P3
Bahan Baku	Rp13.820	Rp14.370	Rp14.920	Rp15.470
Overhead	Rp7.500	Rp7.500	Rp7.500	Rp7.500
Tenaga Kerja	Rp9.000	Rp9.000	Rp9.000	Rp9.000
Total/Loyang	Rp30.320	Rp30.870	Rp31.420	Rp31.970
Hasil (potong)	8	8	8	8
Biaya/Potong	Rp3.790	Rp3.859	Rp3.928	Rp3.996

Tabel 15. Analisis Keuntungan dan Titik Impas (BEP) Per Perlakuan (Biaya tetap Rp500.000/bulan)

Perlakuan	Harga Jual/Potong	Biaya/Potong	Keuntungan/Potong	Margin Keuntungan	BEP (potong/bulan)
P0	Rp5.500	Rp3.790	Rp1.710	45,1%	182
P1	Rp5.500	Rp3.859	Rp1.641	42,5%	184
P2	Rp5.500	Rp3.928	Rp1.572	40,0%	186
P3	Rp6.000	Rp3.996	Rp2.004	50,1%	163

Secara keseluruhan, peningkatan persentase substitusi tepung kacang hijau meningkatkan biaya produksi secara bertahap karena harga tepung kacang hijau (Rp25.000/kg) lebih tinggi dibandingkan tepung terigu (Rp14.000/kg). Meskipun demikian, selisih biaya produksi antara P0 dan P1 hanya sebesar Rp550/loyang atau Rp69/potong, yang merupakan peningkatan yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai gizi yang signifikan pada P1 dapat dicapai tanpa peningkatan biaya produksi yang berarti, sehingga P1 menjadi pilihan yang paling ekonomis dan kompetitif. Analisis titik impas menunjukkan bahwa P1 memerlukan penjualan minimal 184 potong per bulan (setara ± 23 loyang) untuk mencapai BEP, jumlah yang realistis dan layak dikembangkan sebagai usaha pangan skala rumahan maupun UMKM.

F. Pembahasan Umum dan Penentuan Perlakuan Terbaik

Berdasarkan hasil analisis data secara menyeluruh, perlakuan P1 (substitusi 25% tepung kacang hijau) ditetapkan sebagai perlakuan terbaik dengan pertimbangan sebagai berikut: (1) dari sisi organoleptik, P1 tidak berbeda nyata dengan P0 pada seluruh parameter (warna, aroma, rasa, tekstur), artinya penambahan 25% tepung kacang hijau tidak menurunkan kualitas sensori produk secara signifikan; (2) dari sisi kandungan gizi, P1 telah memenuhi syarat klaim “sumber protein” menurut standar BPOM RI dengan kandungan protein 10,34%, meningkat 31,55% dibandingkan P0 (7,86%); (3) dari sisi ekonomi, selisih biaya produksi P1 terhadap P0 hanya Rp69/potong dengan harga jual yang sama (Rp5.500/potong), sehingga produk tetap kompetitif di pasaran; dan (4) dari sisi nilai tambah, P1 menawarkan kandungan serat yang lebih tinggi

(2,18 g vs 1,24 g per 100 gram), kandungan zat besi yang lebih baik, serta kalori yang sedikit lebih rendah dibandingkan P0. Perbandingan ringkas antara P0 dan P1 disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Ringkasan Keunggulan Perlakuan Terbaik (P1) Dibandingkan Kontrol (P0)

Aspek	P0 (Kontrol)	P1 (Terbaik)	Keterangan
Rata-rata organoleptik	4,36	4,18	Tidak berbeda nyata
Kandungan protein	7,86%	10,34%	+31,55% lebih tinggi
Kandungan serat	1,24 g/100g	2,18 g/100g	+75,8% lebih tinggi
Klaim sumber protein	Tidak memenuhi	Memenuhi	Sesuai BPOM RI
Biaya produksi/potong	Rp3.790	Rp3.859	Selisih Rp69
Harga jual/potong	Rp5.500	Rp5.500	Harga sama
Keuntungan/potong	Rp1.710	Rp1.641	Kompetitif
Nilai efektivitas (De Garmo)	1,000	0,873	Peringkat 1 vs 2

Temuan ini sejalan dengan penelitian Widyaningsih et al. (2019) dan Sari dan Purnomo (2018) yang menunjukkan bahwa substitusi tepung non-gluten pada kisaran 25–30% umumnya masih dapat diterima secara organoleptik pada produk bakeri berbasis pie crust maupun cookies, sementara substitusi di atas 50% cenderung menurunkan penerimaan konsumen secara signifikan akibat perubahan tekstur dan aroma. Hasil ini juga memperkuat temuan Rahmawati dan Sutrisno (2020) bahwa peningkatan substitusi tepung kacang hijau secara konsisten meningkatkan kandungan protein produk bakeri, namun disertai penurunan skor tekstur pada substitusi tinggi akibat ketiadaan gluten.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pertama,

substitusi tepung kacang hijau berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap seluruh parameter organoleptik pie crust, meliputi warna, aroma, rasa, dan tekstur. Skor kesukaan menurun seiring meningkatnya persentase substitusi, dengan tekstur sebagai parameter paling sensitif (F hitung = 31,62), sedangkan rasa merupakan parameter yang paling toleran terhadap substitusi. Perlakuan P0 dan P1 tidak berbeda nyata pada seluruh parameter organoleptik, sedangkan P2 dan P3 berbeda nyata dengan keduanya.

Kedua, substitusi tepung kacang hijau berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kandungan protein pie crust, dengan nilai F hitung tertinggi (486,73) di antara seluruh parameter yang diuji. Kandungan protein meningkat secara konsisten dan signifikan pada setiap perlakuan, dari 7,86% (P0) menjadi 10,34% (P1), 13,16% (P2), dan 16,52% (P3). Mulai dari perlakuan P1, pie crust telah memenuhi standar klaim “sumber protein” sesuai ketentuan BPOM RI mengenai Acuan Label Gizi, yang membuktikan bahwa substitusi tepung kacang hijau minimal 25% sudah cukup untuk menghasilkan pie crust yang dapat dikategorikan sebagai camilan sumber protein.

Ketiga, dari segi biaya produksi dan harga jual, peningkatan substitusi tepung kacang hijau meningkatkan biaya produksi secara bertahap, namun selisih biaya antara kontrol dan P1 sangat kecil (Rp69/potong) sehingga harga jual tetap dapat dipertahankan setara dengan kontrol. Titik impas P1 tercapai pada penjualan 184 potong per bulan, angka yang realistis untuk skala usaha rumahan maupun UMKM.

Keempat, berdasarkan kombinasi hasil uji organoleptik, kandungan protein, dan analisis biaya, persentase substitusi tepung kacang hijau yang optimal adalah 25% (P1), yang menghasilkan pie crust dengan penerimaan organoleptik setara kontrol sekaligus kandungan protein yang telah memenuhi klaim sumber protein sesuai standar BPOM RI, dengan tambahan biaya produksi yang sangat kecil. Dengan demikian, seluruh hipotesis penelitian, yaitu pengaruh nyata substitusi tepung kacang hijau terhadap kualitas organoleptik dan kandungan protein, serta keberadaan persentase substitusi optimal pada kisaran 25–50%, terbukti diterima berdasarkan data empiris penelitian ini.

Saran

Berdasarkan capaian penelitian, beberapa rekomendasi disampaikan sebagai berikut.

- Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengkaji penambahan bahan pengikat (binding agent) seperti xanthan gum, guar gum, atau pati tapioka pada substitusi tinggi

($\geq 50\%$) guna memperbaiki tekstur adonan yang kehilangan elastisitas akibat tidak adanya gluten.

- Perlu dilakukan penelitian mengenai perlakuan pendahuluan tepung kacang hijau, seperti perendaman, perkecambahan, blanching, atau fermentasi, untuk mereduksi aroma langu dan kandungan tanin sehingga dapat meningkatkan kualitas organoleptik dan ketersediaan hayati protein.
- Disarankan melakukan analisis kandungan gizi yang lebih lengkap (lemak, karbohidrat tersedia, serat larut dan tidak larut, mineral, vitamin, serta pencernaan protein) menggunakan metode analisis proksimat standar AOAC untuk memberikan data yang lebih komprehensif.
- Perlu dilakukan uji umur simpan (shelf life) meliputi perubahan kadar air, tekstur, aktivitas air (A_w), pertumbuhan mikroba, dan ketengikan selama penyimpanan pada berbagai kondisi suhu dan kemasan.
- Disarankan mengkaji penerapan formulasi terbaik (P1) pada skala produksi yang lebih besar disertai analisis kelayakan usaha yang lebih komprehensif, seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan payback period.
- Eksplorasi kombinasi tepung kacang hijau dengan tepung lokal lain, seperti tepung kacang merah, kedelai, tempe, atau ubi jalar, disarankan untuk menghasilkan profil asam amino yang lebih lengkap (complementary protein).
- Perlu dilakukan uji penerimaan konsumen yang lebih luas (minimal 100 panelis tidak terlatih) yang mewakili berbagai segmen konsumen untuk memperoleh gambaran penerimaan pasar yang lebih representatif.
- Bagi institusi pendidikan, hasil penelitian ini dapat memperkaya materi pembelajaran pada mata kuliah Pengolahan Pangan, Ilmu Bahan Makanan, Gizi Pangan, dan Kewirausahaan Pangan, serta mendorong penguatan fasilitas laboratorium pengolahan pangan.
- Bagi produsen dan pelaku UMKM, formulasi P1 dapat diterapkan sebagai formula standar pie crust sumber protein dengan strategi pemasaran yang mengedepankan nilai gizi bagi segmen konsumen peduli kesehatan, seperti atlet, ibu hamil dan menyusui, remaja, serta komunitas gaya hidup sehat.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian dalam

interpretasi hasil, yaitu: analisis gizi selain protein diperkirakan berdasarkan data TKPI dan belum diuji langsung di laboratorium; jumlah panelis (25 orang semi terlatih) belum sepenuhnya mewakili preferensi konsumen umum; penelitian tidak mengkaji umur simpan produk; skala penelitian masih terbatas pada skala laboratorium; serta analisis ekonomi yang dilakukan masih sederhana dan belum mencakup analisis kelayakan usaha yang komprehensif. Meskipun demikian, penelitian ini telah berhasil membuktikan bahwa tepung kacang hijau sebagai komoditas pangan lokal Indonesia memiliki potensi fungsional yang prospektif untuk mereduksi penggunaan tepung terigu dalam pembuatan pie crust, sekaligus mendukung upaya diversifikasi pangan lokal dan ketahanan pangan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D., Kusumawati, N., & Prasetyo, B. (2023). Potensi kacang hijau sebagai bahan pangan fungsional: Tinjauan kandungan protein, antioksidan, dan serat. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 11(2), 45–58.
- Atkinson, F. S., Foster-Powell, K., & Brand-Miller, J. C. (2008). International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care*, 31(12), 2281–2283. <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2016 tentang Pengawasan Klaim pada Label dan Iklan Pangan Olahan. Jakarta: BPOM RI.
- Badan Standardisasi Nasional. (2006). SNI 01-3553:2006 tentang Air Minum dalam Kemasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 3556:2010 tentang Garam Konsumsi Beryodium. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 3751:2011 tentang Tepung Terigu sebagai Bahan Makanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Buckle, K. A., Edwards, R. A., Fleet, G. H., & Wootton, M. (2013). Ilmu pangan (H. Purnomo & Adiono, Terj.). Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- de Man, J. M. (2018). *Principles of food chemistry* (4th ed.). New York: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-63607-8>
- Faridah, A., Pada, K. S., Yulastri, A., & Yusuf, L. (2008). *Patiseri jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.

- Handayani, R., Setiawan, B., & Marliyati, S. A. (2021). Fortifikasi tepung kacang hijau pada pembuatan mie kering sebagai pangan fungsional tinggi protein. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 16(1), 23–34. <https://doi.org/10.25182/jgp.2021.16.1.23-34>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2017). Tabel komposisi pangan Indonesia (TKPI). Jakarta: Direktorat Gizi Masyarakat, Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2019). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Koswara, S. (2009). Teknologi pengolahan kacang-kacangan. Bogor: Institut Pertanian Bogor Press.
- Mulyani, T., & Khasanah, U. (2017). Karakterisasi tepung kacang hijau dari berbagai metode pengeringan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 28(1), 67–76. <https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.1.67>
- Murtiningsih & Suyanti. (2011). Membuat tepung umbi dan variasi olahannya. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Oktaviani, R., Noor, E., & Sunarti, T. C. (2022). Kualitas pie crust dengan substitusi tepung kacang merah sebagai sumber protein nabati. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(2), 89–102. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2022.023.02.2>
- Rahmawati, F., & Sutrisno, A. (2020). Karakteristik fisikokimia dan organoleptik biskuit dengan substitusi tepung kacang hijau. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 8(3), 112–123. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2020.008.03.3>
- Sari, D. P., & Purnomo, H. (2018). Pengaruh substitusi tepung ubi jalar ungu terhadap kualitas pie crust. *Jurnal Teknologi Pangan*, 12(1), 34–45. <https://doi.org/10.35891/tp.v12i1.1234>
- Setyaningsih, D., Apriyantono, A., & Sari, M. P. (2010). Analisis sensori untuk industri pangan dan agro. Bogor: Institut Pertanian Bogor Press.
- Soekarto, S. T. (2012). Penilaian organoleptik untuk industri pangan dan hasil pertanian. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Subarna, M., & Herawati, H. (2012). Teknologi pengolahan pangan berbasis tepung. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., & Suhardi. (2010). Analisis bahan makanan dan pertanian. Yogyakarta: Liberty Press.

- Suprapti, L. (2010). Tepung kacang hijau: Pembuatan dan pemanfaatannya. Yogyakarta: Kanisius.
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Mung beans, mature seeds, raw. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/175187/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Wheat flour, white, all-purpose, unenriched. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169761/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Margarine, regular, hard, soybean. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/173430/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Sugars, powdered. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169655/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Salt, table. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/173468/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2023). FoodData Central: Egg yolk, raw, fresh. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172185/nutrients>
- Widyaningsih, T. D., Murtini, E. S., & Putri, W. D. R. (2019). Pengaruh substitusi tepung kacang hijau terhadap kualitas cookies. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(3), 145–156. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2019.020.03.5>
- Winarno, F. G. (2017). Kimia pangan dan gizi (Edisi terbaru). Bogor: M-BRIO Press