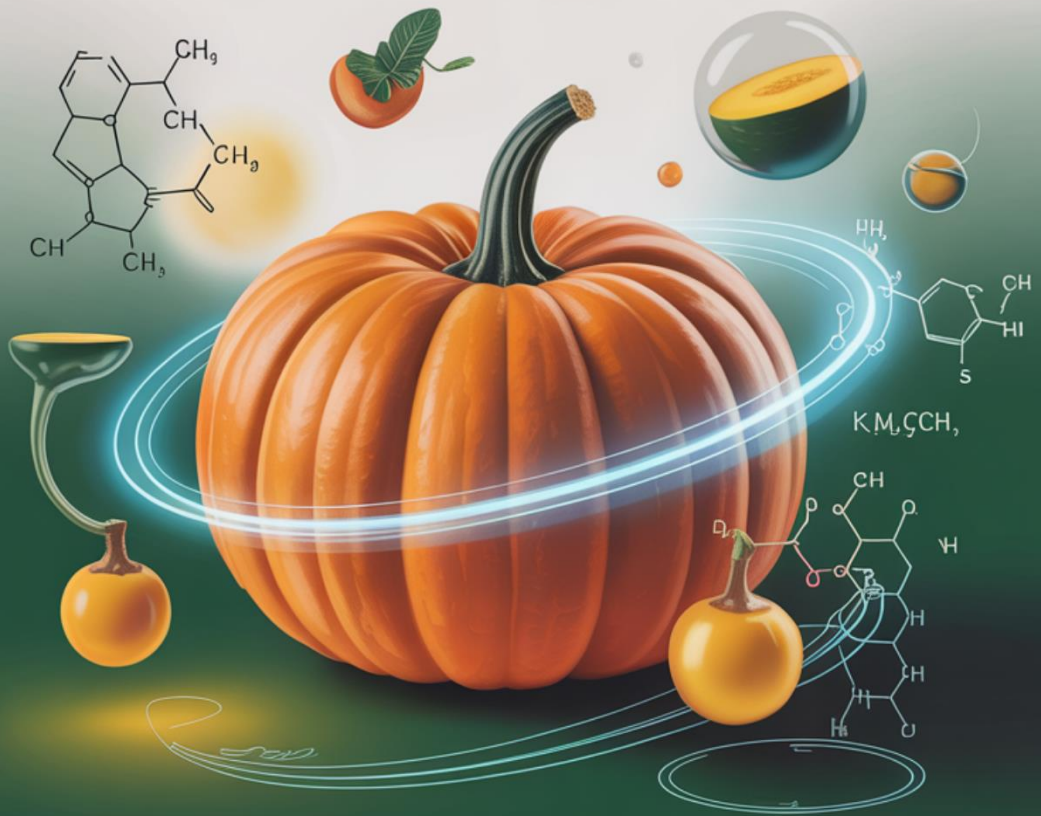


Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE



**PRODUK PANGAN
FUNGSIONAL BERBASIS
LABU KUNING:
DARI SENYAWA BIOAKTIF
HINGGA INOVASI PRODUK**

KUTIPAN PASAL 72:
Ketentuan Pidana Undang-Undang Republik
Indonesia
UU No. 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada Ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah)

Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE

**PRODUK PANGAN
FUNGSIONAL BERBASIS
LABU KUNING:
DARI SENYAWA BIOAKTIF
HINGGA INOVASI PRODUK**



Produk Pangan Fungsional Berbasis Labu Kuning: Dari Senyawa Bioaktif Hingga Inovasi Produk
Copyright © 2026

Penulis:

Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE

Editor:

Tim Redaksi

Setting Layout & Cover:

Tim Redaksi

Diterbitkan Oleh:

Penerbit Bima Utama Press (Anggota IKAPI)

Perumahan Wisata Semanggi D38

Kel. Wonorejo, Kec. Rungkut,

Kota Surabaya, Jawa Timur, 60296

Telp: 081335745874

www.bimautama.net

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang.

Dilarang Memperbanyak Sebagian

Atau Seluruh Isi Buku Ini Tanpa Izin Tertulis Dari Penerbit

Cetakan Ke-1, April 2026

ISBN:978-634-7672-43-8

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku yang berjudul **“Produk Pangan Fungsional Berbasis Labu Kuning: Dari Senyawa Bioaktif Hingga Inovasi Produk”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu pangan, khususnya dalam pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai sumber pangan fungsional yang bernilai tambah tinggi dan berdaya saing.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan menunjukkan bahwa pangan tidak lagi hanya dipandang sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai komponen yang memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan dan mencegah penyakit. Dalam konteks tersebut, labu kuning (*Cucurbita moschata*) merupakan salah satu komoditas lokal yang memiliki potensi besar karena kandungan senyawa bioaktif seperti β -karoten, serat pangan, dan senyawa fenolik yang berperan dalam berbagai aktivitas fisiologis.

Buku ini disusun secara sistematis mulai dari aspek botani dan karakteristik labu kuning, komposisi kimia, senyawa bioaktif dan aktivitas fisiologis, konsep pangan fungsional, teknologi pengolahan, hingga pengembangan produk inovatif serta strategi hilirisasi. Pendekatan yang digunakan mengintegrasikan aspek struktur–fungsi, pencernaan pati, serta implikasi kesehatan, sehingga diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif bagi akademisi, peneliti, mahasiswa, maupun praktisi industri pangan.

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan hibah penelitian yang telah memungkinkan terlaksananya berbagai penelitian terkait labu kuning. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan

pembiayaan studi lanjut program doktor (S3) serta dukungan pendanaan riset terkait pengembangan pangan berbasis labu kuning. Dukungan tersebut memiliki peran yang sangat signifikan dalam memperkuat kapasitas akademik dan keberlanjutan penelitian.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim dosen dan mahasiswa yang telah terlibat secara aktif dalam penelitian labu kuning selama ini. Kontribusi, kolaborasi, dan dedikasi yang diberikan menjadi bagian penting dalam menghasilkan data ilmiah, inovasi produk, serta pengembangan pengetahuan yang dituangkan dalam buku ini. Sinergi tersebut menjadi fondasi dalam membangun ekosistem riset yang produktif dan berkelanjutan.

Penulis menyadari bahwa pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal seperti labu kuning tidak hanya memerlukan pendekatan ilmiah, tetapi juga inovasi teknologi dan strategi komersialisasi yang tepat. Oleh karena itu, buku ini juga menyajikan peluang, tantangan, serta arah riset masa depan yang dapat menjadi referensi dalam pengembangan produk pangan yang berkelanjutan dan berdaya saing.

Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat dan memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan pangan fungsional berbasis potensi lokal Indonesia serta peningkatan kualitas kesehatan masyarakat.

Yogyakarta, 21 April 2026

Penulis,

Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	5
DAFTAR ISI	7
BAB 1. PENDAHULUAN	10
1.1 Latar Belakang Pengembangan Pangan Fungsional	10
1.2 Potensi Pangan Lokal dalam Mendukung Kesehatan	13
1.3 Labu Kuning sebagai Komoditas Strategis	16
1.4 Permasalahan dan Tantangan	20
1.5 Tujuan dan Ruang Lingkup Buku	22
BAB 2. BOTANI DAN KARAKTERISTIK LABU KUNING	24
2.1 Klasifikasi dan Morfologi	24
2.2 Varietas dan Sebaran	26
2.3 Kondisi Tumbuh dan Produksi.....	28
2.4 Karakteristik Fisik dan Kimia	30
2.5 Potensi Agronomis	32
BAB 3. KOMPOSISI KIMIA DAN NILAI GIZI.....	35
3.1 Komposisi Proksimat	35
3.2 Vitamin dan Mineral	37
3.3 Serat Pangan.....	39
3.4 Karotenoid dan Pigmen.....	41
3.5 Stabilitas Nutrisi.....	43
BAB 4. SENYAWA BIOAKTIF DAN AKTIVITAS FISIOLOGIS	46
4.1 β -karoten dan Provitamin A	46
4.2 Senyawa Fenolik dan Antioksidan.....	48
4.3 Aktivitas Antidiabetes	50
4.4 Aktivitas Antiinflamasi	53
4.5 Mekanisme Bioaktivitas.....	55
BAB 5. KONSEP DAN PRINSIP PANGAN FUNGSIONAL	58
5.1 Definisi dan Klasifikasi.....	58
5.2 Komponen Fungsional dalam Pangan.....	60
5.3 Hubungan Pangan dan Kesehatan.....	62
5.4 Tren Global Pangan Fungsional.....	64

5.5 Regulasi dan Klaim.....	66
BAB 6. TEKNOLOGI PENGOLAHAN LABU KUNING	69
6.1 Pengolahan menjadi Tepung dan Puree	69
6.2 Teknologi Pengeringan	71
6.3 Teknologi Ekstrusi	73
6.4 Pengaruh Proses terhadap Nutrisi	75
6.5 Stabilitas dan Penyimpanan	77
BAB 7. SIFAT FUNGSIONAL DAN STRUKTUR MIKRO	79
7.1 Sifat Fungsional	79
7.2 Struktur Pati dan Serat	81
7.3 Analisis FTIR.....	83
7.4 Analisis SEM	84
7.5 Hubungan Struktur–Fungsi.....	86
BAB 8. KECERNAAN PATI DAN RESPON GLIKEMIK.....	89
8.1 Konsep Kecernaan Pati.....	89
8.2 Faktor yang Mempengaruhi Kecernaan.....	91
8.3 Metode Analisis <i>In Vitro</i>	93
8.4 Indeks Glikemik.....	94
8.5 Implikasi Kesehatan.....	96
BAB 9. PENGEMBANGAN PRODUK PANGAN INOVATIF	99
9.1 Formulasi Produk.....	99
9.2 Produk Olahan Labu Kuning	101
9.3 Evaluasi Fisik, Kimia, dan Sensoris	103
9.4 Penerimaan Konsumen	105
9.5 Studi Kasus Produk.....	107
BAB 10. INOVASI, HILIRISASI, DAN PROSPEK MASA DEPAN	110
10.1 Tren Industri Pangan Fungsional	110
10.2 Peluang Komersialisasi.....	112
10.3 Strategi Hilirisasi Produk.....	114
10.4 Tantangan dan Riset Masa Depan.....	115
10.5 Model Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Labu Kuning	117
DAFTAR PUSTAKA.....	120

TENTANG PENULIS.....130

BAB 1.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pengembangan Pangan Fungsional

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan telah mendorong perubahan paradigma konsumsi masyarakat dari sekadar pemenuhan kebutuhan energi menuju pemanfaatan pangan sebagai sarana peningkatan kesehatan. Pangan tidak lagi diposisikan hanya sebagai sumber zat gizi makro dan mikro, tetapi juga sebagai komponen yang mampu memberikan efek fisiologis spesifik bagi tubuh. Konsep ini melandasi munculnya istilah *pangan fungsional*, yaitu pangan yang selain memenuhi kebutuhan nutrisi dasar juga memberikan manfaat tambahan dalam menjaga kesehatan dan mencegah penyakit (Toy *et al.*, 2025). Pergeseran ini semakin relevan di tengah meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kualitas hidup dan pola makan yang sehat.

Peningkatan prevalensi penyakit tidak menular, seperti diabetes melitus, obesitas, penyakit kardiovaskular, dan sindrom metabolik, menjadi salah satu faktor utama yang mendorong pengembangan pangan fungsional. Penyakit-penyakit tersebut umumnya berkaitan erat dengan pola konsumsi yang tidak seimbang dan gaya hidup sedentari. Oleh karena itu, pendekatan preventif melalui intervensi diet menjadi sangat penting. Dalam hal ini, pangan fungsional hadir sebagai solusi strategis yang mampu mengintegrasikan aspek nutrisi dan kesehatan melalui konsumsi bahan pangan yang kaya akan senyawa bioaktif.

Senyawa bioaktif yang terdapat dalam pangan fungsional, seperti antioksidan, serat pangan, vitamin, mineral, dan fitokimia, memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh. Antioksidan berfungsi dalam menangkal radikal bebas yang dapat menyebabkan kerusakan sel (Shah *et al.*, 2022). Sementara serat pangan berkontribusi dalam menjaga kesehatan saluran pencernaan

serta mengontrol kadar glukosa dan lipid dalam darah. Selain itu, berbagai senyawa fitokimia diketahui memiliki aktivitas biologis seperti antiinflamasi, antidiabetes, dan imunomodulator (Rodríguez-Negrete *et al.*, 2024; Slamet *et al.*, 2022). Keberadaan senyawa-senyawa tersebut menjadikan pangan fungsional sebagai komponen penting dalam upaya pencegahan penyakit kronis.

Perkembangan konsep pangan fungsional juga didukung oleh kemajuan teknologi pengolahan pangan yang memungkinkan peningkatan kualitas dan stabilitas senyawa bioaktif dalam produk akhir. Teknologi seperti pengeringan, ekstrusi, fermentasi, dan modifikasi fisik-kimia bahan pangan dapat memengaruhi struktur dan komposisi bahan, sehingga berdampak pada sifat fungsionalnya. Selain itu, interaksi antar komponen pangan, seperti pati, protein, dan serat, juga berperan dalam menentukan karakteristik produk, termasuk pencernaan dan bioavailabilitas nutrisi. Oleh karena itu, pendekatan berbasis struktur–fungsi menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional yang efektif.

Di sisi lain, meningkatnya kesadaran konsumen terhadap kesehatan telah mendorong perubahan preferensi pasar terhadap produk pangan yang tidak hanya lezat tetapi juga menyehatkan. Konsumen modern cenderung memilih produk yang memiliki klaim kesehatan, berbasis bahan alami, serta minim proses kimia. Tren ini membuka peluang besar bagi pengembangan produk pangan fungsional yang inovatif dan berbasis sumber daya lokal. Selain itu, permintaan terhadap pangan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan juga semakin meningkat, sehingga mendorong pemanfaatan bahan baku lokal sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan.

Indonesia sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang tinggi memiliki potensi besar dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal. Berbagai komoditas seperti labu kuning, ubi kayu, sorgum, dan kacang-kacangan mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan (Slamet *et al.*, 2022,

2025, 2026). Namun, pemanfaatan sumber daya tersebut masih belum optimal, baik dari segi pengolahan maupun pengembangan produk. Oleh karena itu, diperlukan upaya yang terintegrasi untuk mengembangkan pangan fungsional berbasis bahan lokal yang tidak hanya bernilai gizi tinggi, tetapi juga memiliki daya saing di pasar.

Dengan demikian, pengembangan pangan fungsional merupakan langkah strategis yang tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kesehatan masyarakat, tetapi juga mendukung ketahanan pangan dan pengembangan ekonomi berbasis sumber daya lokal. Integrasi antara ilmu pangan, teknologi pengolahan, dan ilmu gizi menjadi kunci dalam menghasilkan produk pangan fungsional yang berkualitas dan berdaya saing. Dalam konteks buku ini, pembahasan akan difokuskan pada pemanfaatan labu kuning sebagai salah satu bahan lokal potensial dalam pengembangan pangan fungsional, dengan pendekatan yang mengintegrasikan aspek komposisi, struktur, fungsi, dan aplikasi produk. Pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengembangan pangan fungsional

1.2 Potensi Pangan Lokal dalam Mendukung Kesehatan

Potensi pangan lokal dalam mendukung kesehatan masyarakat semakin mendapat perhatian seiring meningkatnya kesadaran akan pentingnya konsumsi pangan yang bergizi, aman, dan berkelanjutan. Indonesia sebagai negara megabiodiversitas memiliki kekayaan sumber daya pangan yang sangat beragam, mulai dari umbi-umbian, sereal lokal, buah-buahan, hingga kacang-kacangan. Keanekaragaman ini merupakan modal penting dalam penyediaan pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan status kesehatan masyarakat melalui kandungan zat gizi dan senyawa bioaktif yang dimilikinya.

Pangan lokal umumnya memiliki kandungan nutrisi yang tidak kalah, bahkan dalam beberapa kasus lebih unggul dibandingkan

dengan bahan pangan impor. Banyak komoditas lokal yang kaya akan serat pangan, vitamin, mineral, serta senyawa fitokimia yang berperan sebagai antioksidan alami. Senyawa-senyawa ini diketahui memiliki kemampuan dalam menurunkan risiko penyakit degeneratif, seperti penyakit jantung, diabetes melitus, dan kanker. Selain itu, kandungan serat dalam pangan lokal berperan dalam menjaga kesehatan saluran pencernaan, meningkatkan mikrobiota usus yang menguntungkan, serta membantu pengendalian kadar glukosa dan lipid dalam darah.

Keunggulan lain dari pangan lokal adalah kesesuaiannya dengan kondisi lingkungan dan budaya masyarakat setempat. Pangan lokal umumnya lebih adaptif terhadap kondisi agroekologi, sehingga produksinya cenderung lebih efisien dan berkelanjutan. Selain itu, konsumsi pangan lokal telah menjadi bagian dari budaya dan kearifan lokal yang diwariskan secara turun-temurun. Hal ini menjadikan pangan lokal tidak hanya sebagai sumber nutrisi, tetapi juga sebagai bagian dari identitas sosial dan budaya masyarakat yang perlu dilestarikan.

Dalam konteks kesehatan, pemanfaatan pangan lokal memiliki peran strategis dalam mendukung pola makan sehat berbasis sumber daya alami. Pangan lokal cenderung lebih minim proses pengolahan dibandingkan dengan produk pangan industri, sehingga kandungan nutrisinya relatif lebih terjaga. Selain itu, penggunaan bahan alami tanpa tambahan bahan kimia sintetis menjadikan pangan lokal lebih aman untuk dikonsumsi dalam jangka panjang. Oleh karena itu, integrasi pangan lokal dalam pola konsumsi harian dapat menjadi strategi efektif dalam meningkatkan kualitas diet masyarakat.

Pengembangan pangan lokal sebagai pangan fungsional juga membuka peluang besar dalam inovasi produk pangan yang bernilai tambah tinggi. Berbagai bahan lokal seperti labu kuning, singkong (mocaf), sorgum, dan kacang-kacangan dapat diolah menjadi produk pangan modern dengan karakteristik fungsional yang unggul (Diana *et al.*, 2023; Slamet *et al.*, 2025). Proses pengolahan yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif, memperbaiki sifat fisik

dan sensoris, serta memperluas aplikasi bahan dalam berbagai produk pangan. Selain itu, kombinasi beberapa bahan lokal dalam formulasi produk dapat menghasilkan sinergi yang meningkatkan manfaat kesehatan secara keseluruhan.

Meskipun memiliki potensi yang besar, pemanfaatan pangan lokal dalam mendukung kesehatan masih menghadapi berbagai tantangan. Rendahnya tingkat konsumsi pangan lokal di masyarakat sering kali disebabkan oleh persepsi bahwa pangan lokal kurang praktis atau kurang modern dibandingkan dengan produk pangan olahan. Selain itu, keterbatasan inovasi produk, teknologi pengolahan, serta kurangnya promosi dan edukasi menjadi kendala dalam pengembangan pangan lokal. Oleh karena itu, diperlukan upaya yang terintegrasi antara penelitian, pengembangan teknologi, serta edukasi masyarakat untuk meningkatkan pemanfaatan pangan lokal.

Dengan demikian, pangan lokal memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kesehatan masyarakat sekaligus menjaga keberlanjutan sistem pangan. Pemanfaatan pangan lokal secara optimal tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kualitas gizi, tetapi juga mendukung ketahanan pangan nasional dan pengembangan ekonomi berbasis sumber daya lokal. Dalam konteks buku ini, pangan lokal diposisikan sebagai fondasi utama dalam pengembangan pangan fungsional, di mana labu kuning menjadi salah satu komoditas unggulan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk pangan inovatif yang menyehatkan dan berdaya saing tinggi. Komposisi nutrisi dan komponen fungsional beberapa pangan lokal disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Nutrisi dan Komponen Fungsional Beberapa Pangan Lokal

Bahan Pangan Lokal	Komponen Utama	Senyawa Bioaktif Dominan	Manfaat Kesehatan Utama
Labu kuning	Karbohidrat, serat, vitamin A	β -karoten, fenolik	Antioksidan, kesehatan mata, imun
Ubi kayu (mocaf)	Karbohidrat kompleks, serat	Pati resisten	Kontrol glukosa, kesehatan usus
Sorgum	Protein, serat, mineral	Tanin, polifenol	Antidiabetes, antioksidan
Kacang merah	Protein, serat, mineral	Flavonoid, antosianin	Antioksidan, kesehatan jantung
Ubi jalar	Karbohidrat, vitamin	β -karoten, antosianin	Antioksidan, antiinflamasi

Sumber: (Gavril (Raṭu) *et al.*, 2024; Toivonen, 2010; Tonapi *et al.*, 2020)

1.3 Labu Kuning sebagai Komoditas Strategis

Labu kuning (*Cucurbita moschata*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai strategis dalam mendukung pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya lokal. Tanaman tersebut memiliki keunggulan agronomis berupa kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, mulai dari dataran rendah hingga dataran tinggi, serta toleransi terhadap kondisi tanah yang relatif beragam. Selain itu, siklus tanam yang relatif singkat dan produktivitas yang cukup tinggi menjadikan labu kuning sebagai komoditas yang potensial untuk

dikembangkan secara luas. Ketersediaan bahan baku yang stabil sepanjang tahun menjadi faktor penting dalam menjamin keberlanjutan produksi pangan berbasis labu kuning.

Dari perspektif gizi, labu kuning dikenal sebagai sumber nutrisi yang kaya dan beragam. Kandungan β -karoten sebagai provitamin A merupakan salah satu komponen utama yang memberikan nilai tambah signifikan pada komoditas ini. β -karoten berperan dalam menjaga kesehatan mata, meningkatkan sistem imun, serta berfungsi sebagai antioksidan yang mampu menangkal radikal bebas (Krinsky & Johnson, 2005). Selain itu, labu kuning juga mengandung serat pangan, vitamin C, vitamin E, serta berbagai mineral seperti kalium dan magnesium. Kombinasi komponen nutrisi tersebut menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi dasar, tetapi juga memiliki potensi sebagai pangan fungsional. Komposisi gizi dan Senyawa Bioaktif Labu Kuning (per 100 g bahan segar) disajikan pada Tabel 1.

Keunggulan lain dari labu kuning terletak pada kandungan senyawa bioaktifnya yang berperan dalam berbagai aktivitas fisiologis. Senyawa fenolik dan karotenoid yang terdapat dalam labu kuning diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi, yang dapat membantu mengurangi stres oksidatif dalam tubuh. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsumsi labu kuning dapat berkontribusi dalam pengendalian kadar glukosa darah dan profil lipid, sehingga berpotensi dalam pencegahan penyakit metabolik seperti diabetes dan penyakit kardiovaskular. Hal ini semakin memperkuat posisi labu kuning sebagai bahan pangan yang memiliki nilai kesehatan yang signifikan.

Tabel 2. Komposisi Gizi dan Senyawa Bioaktif Labu Kuning (per 100 g bahan segar)

Komponen	Kadar	Peran Fungsional
Air	88–92 g	Menjaga hidrasi dan tekstur
Energi	20–30 kkal	Sumber energi rendah kalori
Karbohidrat	4–7 g	Sumber energi utama
Serat pangan	0,5–1,5 g	Kesehatan pencernaan, kontrol glukosa
Protein	1–1,2 g	Pertumbuhan dan perbaikan jaringan
Lemak	0,1–0,3 g	Sangat rendah, baik untuk diet sehat
β-karoten	2.000–8.500 µg	Antioksidan, provitamin A
Vitamin C	8–15 mg	Antioksidan, meningkatkan imun
Kalium	200–340 mg	Regulasi tekanan darah
Senyawa fenolik	±50–150 mg GAE	Aktivitas antioksidan

Sumber: (Alqahtani, 2025; Leichtweis *et al.*, 2022; Valdez-Arjona & Ramírez-Mella, 2019)

Dalam aspek teknologi pangan, labu kuning memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam pengolahan menjadi berbagai bentuk produk. Daging buah yang memiliki tekstur lunak dan kandungan pati yang cukup memungkinkan labu kuning diolah menjadi puree, tepung, maupun bahan tambahan dalam formulasi produk pangan. Tepung labu kuning, misalnya, dapat digunakan sebagai substituen parsial tepung terigu dalam berbagai produk seperti mie, roti, cookies, dan produk ekstrusi. Penggunaan labu kuning dalam formulasi tidak hanya

meningkatkan nilai gizi, tetapi juga memberikan warna alami yang menarik serta memperbaiki karakteristik sensoris produk.

Dari perspektif ekonomi, pengembangan labu kuning sebagai komoditas strategis memiliki potensi untuk meningkatkan nilai tambah produk pertanian lokal. Pemanfaatan labu kuning dalam industri pangan dapat mendorong pertumbuhan agroindustri berbasis lokal, meningkatkan pendapatan petani, serta memperluas peluang usaha di sektor pengolahan pangan. Selain itu, pengembangan produk berbasis labu kuning juga dapat mendukung diversifikasi pangan dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor. Dengan demikian, labu kuning memiliki peran penting tidak hanya dalam aspek kesehatan, tetapi juga dalam pembangunan ekonomi berbasis sumber daya lokal.

Meskipun memiliki potensi yang besar, pemanfaatan labu kuning sebagai komoditas strategis masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu kendala utama adalah rendahnya tingkat pemanfaatan pada tingkat industri, yang sering kali disebabkan oleh keterbatasan teknologi pengolahan dan kurangnya inovasi produk. Selain itu, persepsi masyarakat terhadap labu kuning yang masih dianggap sebagai bahan pangan tradisional juga menjadi hambatan dalam pengembangan produk modern berbasis labu kuning. Oleh karena itu, diperlukan upaya yang terintegrasi dalam meningkatkan nilai tambah dan citra labu kuning sebagai bahan pangan fungsional yang modern dan bernilai tinggi.

Dengan demikian, labu kuning memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai komoditas strategis dalam sistem pangan masa depan. Integrasi antara keunggulan agronomis, kandungan nutrisi, potensi bioaktif, serta fleksibilitas pengolahan menjadikan labu kuning sebagai bahan yang ideal untuk pengembangan pangan fungsional. Dalam konteks buku ini, labu kuning diposisikan sebagai bahan utama dalam pengembangan produk pangan inovatif yang tidak hanya memberikan manfaat kesehatan, tetapi juga memiliki daya saing tinggi di pasar nasional maupun global.

1.4 Permasalahan dan Tantangan

Pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal, termasuk labu kuning, menghadapi berbagai permasalahan yang kompleks dan multidimensional. Meskipun potensi bahan baku sangat besar, pemanfaatannya dalam skala industri masih relatif terbatas. Salah satu kendala utama adalah rendahnya tingkat hilirisasi hasil penelitian menjadi produk komersial yang siap pasar. Banyak inovasi yang berhenti pada tahap laboratorium tanpa diikuti dengan pengembangan lebih lanjut menuju produksi massal, sehingga kontribusinya terhadap masyarakat dan industri menjadi kurang optimal.

Dari sisi bahan baku, tantangan utama terletak pada variabilitas kualitas dan ketersediaan bahan yang belum sepenuhnya terstandarisasi. Labu kuning yang dihasilkan dari berbagai daerah dapat memiliki perbedaan dalam ukuran, kadar air, kandungan β -karoten, dan komponen bioaktif lainnya, tergantung pada varietas, kondisi lingkungan, dan teknik budidaya (Hagos *et al.*, 2023; Kim *et al.*, 2012). Variabilitas ini dapat memengaruhi konsistensi mutu produk akhir, sehingga menjadi kendala dalam pengembangan produk pangan yang membutuhkan standar kualitas yang ketat, terutama untuk pasar industri dan ekspor.

Aspek teknologi pengolahan juga menjadi tantangan penting dalam pengembangan pangan fungsional. Proses pengolahan yang tidak tepat dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif, seperti β -karoten dan senyawa fenolik, sehingga menurunkan nilai fungsional produk. Selain itu, keterbatasan akses terhadap teknologi pengolahan modern, seperti ekstrusi, pengeringan terkendali, dan enkapsulasi, terutama pada skala UMKM, menjadi hambatan dalam menghasilkan produk dengan kualitas yang optimal dan stabil selama penyimpanan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi yang tidak hanya efektif tetapi juga aplikatif dan ekonomis.

Dari perspektif produk, tantangan lain yang dihadapi adalah aspek sensoris dan penerimaan konsumen. Produk pangan berbasis

labu kuning atau bahan lokal lainnya sering kali mengalami keterbatasan dalam hal tekstur, rasa, dan aroma yang belum sepenuhnya sesuai dengan preferensi konsumen modern. Meskipun memiliki nilai gizi yang tinggi, produk tersebut perlu dikembangkan lebih lanjut agar memiliki karakteristik sensoris yang menarik dan kompetitif dibandingkan dengan produk pangan komersial yang sudah mapan di pasar.

Selain itu, persepsi masyarakat terhadap pangan lokal juga menjadi kendala dalam pengembangan pangan fungsional. Pangan lokal sering kali dianggap sebagai pangan tradisional yang kurang praktis atau kurang memiliki nilai prestise dibandingkan dengan produk impor atau produk olahan modern. Persepsi ini memengaruhi pola konsumsi masyarakat yang cenderung lebih memilih produk instan atau berbasis bahan impor. Oleh karena itu, diperlukan upaya edukasi dan promosi yang berkelanjutan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap manfaat pangan lokal bagi kesehatan.

Dari sisi regulasi dan kebijakan, pengembangan pangan fungsional juga menghadapi tantangan terkait dengan standar dan klaim kesehatan. Produk pangan fungsional memerlukan pembuktian ilmiah yang kuat untuk mendukung klaim manfaat kesehatan yang diajukan. Proses ini memerlukan waktu, biaya, dan dukungan penelitian yang memadai. Selain itu, regulasi yang belum sepenuhnya terintegrasi dapat menjadi hambatan dalam percepatan pengembangan dan komersialisasi produk pangan fungsional di pasar.

Dengan demikian, pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan kolaboratif antara berbagai pihak, termasuk akademisi, industri, pemerintah, dan masyarakat. Tantangan yang ada harus direspons dengan inovasi teknologi, peningkatan kualitas bahan baku, penguatan riset berbasis bukti ilmiah, serta strategi pemasaran yang efektif. Melalui sinergi tersebut, diharapkan potensi besar labu kuning sebagai bahan pangan fungsional dapat dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan

kesehatan masyarakat sekaligus mendukung pembangunan ekonomi berbasis sumber daya lokal.

1.5 Tujuan dan Ruang Lingkup Buku

Buku ini disusun dengan tujuan utama untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai potensi labu kuning sebagai bahan baku dalam pengembangan pangan fungsional. Pembahasan dalam buku ini tidak hanya menekankan aspek komposisi kimia dan nilai gizi, tetapi juga mengintegrasikan berbagai dimensi penting lainnya, seperti senyawa bioaktif, sifat fungsional, struktur bahan, serta implikasinya terhadap kesehatan. Dengan pendekatan yang menyeluruh, buku ini diharapkan mampu menjadi referensi ilmiah yang kuat bagi pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya lokal.

Selain itu, buku ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara hasil penelitian ilmiah dan aplikasi praktis di bidang industri pangan. Banyak hasil riset yang telah mengungkap potensi labu kuning sebagai bahan fungsional, namun belum sepenuhnya diterapkan dalam skala produksi. Oleh karena itu, buku ini menyajikan informasi yang tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif, sehingga dapat digunakan sebagai panduan dalam pengembangan produk pangan inovatif yang berbasis labu kuning.

Ruang lingkup pembahasan dalam buku ini mencakup berbagai aspek yang saling terkait, dimulai dari karakteristik bahan baku hingga pengembangan produk akhir. Pembahasan diawali dengan pengenalan tentang labu kuning sebagai komoditas strategis, termasuk aspek botani, komposisi kimia, dan nilai gizinya. Selanjutnya, buku ini mengulas secara mendalam mengenai konsep pangan fungsional, peran senyawa bioaktif, serta mekanisme biologis yang mendasari manfaat kesehatan dari konsumsi pangan tersebut.

Dalam aspek teknologi, buku ini juga membahas berbagai metode pengolahan yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan

pemanfaatan labu kuning. Proses seperti pengeringan, ekstrusi, dan modifikasi bahan dibahas secara sistematis untuk memberikan gambaran mengenai pengaruh teknologi terhadap kualitas dan stabilitas senyawa bioaktif. Selain itu, analisis sifat fungsional dan struktur mikro bahan pangan juga menjadi bagian penting dalam memahami hubungan antara komposisi, struktur, dan fungsi produk.

Buku ini juga mencakup pembahasan mengenai pencernaan pati dan respon glikemik sebagai indikator penting dalam menilai kualitas pangan fungsional. Konsep pencernaan pati, termasuk fraksi *Rapidly Digestible Starch* (RDS), *Slowly Digestible Starch* (SDS), dan *Resistant Starch* (RS), dijelaskan secara rinci untuk memberikan pemahaman mengenai bagaimana pangan memengaruhi metabolisme glukosa dalam tubuh. Hal ini menjadi sangat relevan dalam pengembangan produk pangan yang ditujukan untuk pencegahan penyakit metabolik, seperti diabetes.

Lebih lanjut, buku ini membahas pengembangan berbagai produk pangan inovatif berbasis labu kuning, seperti mie, cookies, beras analog, dan bubur instan. Setiap produk dianalisis dari aspek formulasi, karakteristik fisik dan kimia, serta penerimaan sensoris. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran nyata mengenai bagaimana labu kuning dapat diintegrasikan dalam berbagai produk pangan modern yang memiliki nilai tambah tinggi dan daya saing di pasar.

Dengan cakupan pembahasan yang luas dan terintegrasi, buku ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi berbagai kalangan, termasuk akademisi, peneliti, mahasiswa, serta praktisi di industri pangan. Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat mendorong pengembangan inovasi berbasis bahan lokal serta memperkuat peran pangan fungsional dalam meningkatkan kesehatan masyarakat. Melalui pendekatan ilmiah dan aplikatif, buku ini berupaya memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pangan dan pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan.

BAB 2.

BOTANI DAN KARAKTERISTIK LABU KUNING

2.1 Klasifikasi dan Morfologi

Labu kuning merupakan salah satu tanaman hortikultura yang termasuk dalam kelompok sayuran buah dan memiliki peranan penting dalam sistem pangan lokal maupun global. Secara ilmiah, labu kuning diklasifikasikan ke dalam kerajaan *Plantae*, divisi *Magnoliophyta*, kelas *Magnoliopsida*, ordo *Cucurbitales*, famili *Cucurbitaceae*, genus *Cucurbita*, dan spesies *Cucurbita moschata* (Tricoli *et al.*, 2008). Famili *Cucurbitaceae* dikenal sebagai kelompok tanaman yang memiliki karakteristik khas berupa batang menjalar, buah berdaging tebal, serta biji dalam jumlah banyak. Dalam genus *Cucurbita*, terdapat beberapa spesies lain seperti *Cucurbita maxima* dan *Cucurbita pepo*, namun *Cucurbita moschata* merupakan salah satu spesies yang paling banyak dibudidayakan di daerah tropis karena adaptasinya yang baik terhadap kondisi lingkungan panas dan lembab.

Secara morfologis, labu kuning merupakan tanaman semusim dengan tipe pertumbuhan menjalar atau merambat. Batangnya berbentuk bulat, beralur, dan memiliki permukaan yang kasar akibat adanya rambut-rambut halus. Batang ini dapat tumbuh memanjang hingga beberapa meter dan dilengkapi dengan sulur yang berfungsi sebagai alat bantu untuk merambat dan menopang tanaman pada lingkungan sekitarnya. Sistem perakaran labu kuning termasuk akar serabut yang berkembang cukup luas di dalam tanah, sehingga mampu menyerap air dan unsur hara secara efisien, terutama pada kondisi lahan yang relatif subur.

Daun labu kuning memiliki bentuk yang khas, yaitu lebar, menjari, dan berwarna hijau dengan permukaan yang sedikit kasar. Daun ini berfungsi sebagai organ utama dalam proses fotosintesis dan memiliki peran penting dalam pertumbuhan tanaman. Ukuran daun yang besar memungkinkan penyerapan cahaya matahari secara

optimal, sehingga mendukung proses pembentukan biomassa dan perkembangan buah. Selain itu, daun juga berperan dalam transpirasi dan pertukaran gas, yang secara tidak langsung memengaruhi keseimbangan fisiologis tanaman.

Bunga labu kuning termasuk bunga berumah satu (*monoecious*), yang ditandai dengan bunga jantan dan bunga betina terdapat pada satu tanaman yang sama tetapi terpisah secara morfologis. Bunga jantan biasanya muncul lebih awal dan berfungsi sebagai penghasil serbuk sari, sedangkan bunga betina memiliki bakal buah yang terletak di bagian bawah bunga. Proses penyerbukan umumnya dibantu oleh serangga, seperti lebah, yang memindahkan serbuk sari dari bunga jantan ke bunga betina. Keberhasilan penyerbukan sangat menentukan pembentukan dan perkembangan buah, sehingga faktor lingkungan dan keberadaan penyerbuk menjadi aspek penting dalam budidaya labu kuning.

Buah labu kuning merupakan bagian yang paling dimanfaatkan dan memiliki variasi bentuk, ukuran, serta warna yang cukup beragam. Buah dapat berbentuk bulat, lonjong, atau pipih, dengan warna kulit berkisar dari hijau, kuning, hingga oranye. Daging buah umumnya berwarna kuning hingga oranye cerah, yang menunjukkan tingginya kandungan karotenoid, terutama β -karoten. Tekstur daging buah yang lunak dan sedikit berserat menjadikannya mudah diolah menjadi berbagai produk pangan. Selain itu, ketebalan daging buah yang cukup tinggi memberikan nilai ekonomis yang baik dalam pengolahan.

Bagian dalam buah labu kuning terdiri atas rongga yang berisi biji dalam jumlah banyak. Biji labu kuning berbentuk pipih, berwarna putih krem hingga kekuningan, dan dilapisi oleh kulit tipis. Biji ini juga memiliki nilai gizi yang cukup tinggi karena mengandung protein, lemak sehat, serta mineral. Dalam beberapa aplikasi, biji labu kuning dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan tambahan atau diolah menjadi produk lain, seperti minyak biji labu. Dengan demikian, hampir seluruh bagian tanaman labu kuning memiliki potensi pemanfaatan yang tinggi.

Karakteristik morfologi labu kuning yang unik tidak hanya berpengaruh terhadap aspek budidaya, tetapi juga memiliki implikasi terhadap kualitas dan pemanfaatan produk pangan. Bentuk dan ukuran buah, ketebalan daging, serta kandungan air dan serat akan memengaruhi sifat fisik dan kimia bahan, termasuk tekstur, warna, dan kandungan nutrisi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai klasifikasi dan morfologi labu kuning menjadi dasar penting dalam pengembangan produk pangan fungsional yang berkualitas. Integrasi antara aspek botani dan teknologi pangan akan memungkinkan optimalisasi pemanfaatan labu kuning sebagai bahan baku yang bernilai tambah tinggi.

2.2 Varietas dan Sebaran

Tanaman Labu kuning memiliki keragaman varietas yang cukup tinggi, baik yang berasal dari seleksi lokal maupun hasil pemuliaan modern. Keragaman ini tercermin pada perbedaan bentuk buah, ukuran, warna kulit dan daging, ketebalan daging, serta kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif. Variasi tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh faktor genetik, tetapi juga oleh kondisi lingkungan tempat tanaman dibudidayakan. Keanekaragaman varietas ini menjadi potensi penting dalam pengembangan produk pangan fungsional, karena memungkinkan pemilihan bahan baku yang sesuai dengan tujuan pengolahan dan karakteristik produk yang diinginkan.

Secara umum, varietas labu kuning dapat dibedakan menjadi varietas lokal dan varietas unggul hasil pemuliaan. Varietas lokal biasanya berkembang secara alami di suatu wilayah dan telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat. Varietas ini sering kali memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta kemampuan beradaptasi terhadap kondisi iklim yang beragam. Sementara itu, varietas unggul merupakan hasil seleksi dan pemuliaan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, kualitas buah, serta keseragaman hasil. Varietas unggul umumnya memiliki

ukuran buah yang lebih seragam, warna daging yang lebih cerah, serta kandungan β -karoten yang lebih tinggi.

Perbedaan varietas labu kuning juga berpengaruh terhadap komposisi kimia dan sifat fungsional bahan. Beberapa varietas memiliki kandungan karotenoid yang lebih tinggi, sehingga lebih potensial sebagai sumber provitamin A dan antioksidan. Varietas dengan daging buah yang lebih tebal dan kandungan pati yang tinggi lebih sesuai untuk diolah menjadi tepung atau produk ekstrusi, seperti mie dan beras analog. Sementara itu, varietas dengan tekstur yang lebih lembut dan rasa yang lebih manis lebih cocok digunakan dalam produk berbasis puree, seperti bubur instan dan produk bakery. Oleh karena itu, pemilihan varietas yang tepat menjadi faktor kunci dalam pengembangan produk pangan berbasis labu kuning.

Sebaran labu kuning secara global cukup luas, terutama di wilayah tropis dan subtropis. Tanaman ini banyak dibudidayakan di negara-negara Asia, Afrika, dan Amerika Latin, yang memiliki kondisi iklim yang mendukung pertumbuhannya. Di Indonesia, labu kuning tersebar hampir di seluruh wilayah, baik di Pulau Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, maupun Nusa Tenggara. Kondisi agroekologi yang beragam di Indonesia memungkinkan pengembangan berbagai varietas lokal yang memiliki karakteristik unik sesuai dengan lingkungan masing-masing daerah.

Di tingkat lokal, distribusi varietas labu kuning sering kali dipengaruhi oleh preferensi masyarakat dan sistem budidaya yang diterapkan. Beberapa daerah dikenal memiliki varietas khas dengan ciri tertentu, seperti ukuran buah yang besar, warna daging yang lebih pekat, atau rasa yang lebih manis. Varietas-varietas ini sering kali menjadi bagian dari identitas pangan lokal dan memiliki nilai budaya yang tinggi. Selain itu, keberadaan varietas lokal juga menjadi sumber plasma nutfah yang penting dalam program pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas unggul baru.

Sebaran labu kuning yang luas juga memberikan peluang dalam pengembangan rantai pasok bahan baku untuk industri pangan.

Ketersediaan bahan baku dari berbagai daerah memungkinkan kontinuitas produksi serta diversifikasi sumber bahan. Namun, perbedaan varietas dan kondisi lingkungan dapat menyebabkan variasi kualitas bahan baku, sehingga diperlukan sistem standardisasi dan pengendalian mutu yang baik. Hal ini menjadi penting terutama dalam produksi pangan fungsional yang membutuhkan konsistensi kualitas untuk menjamin efektivitas dan keamanan produk.

Dengan demikian, keberagaman varietas dan luasnya sebaran labu kuning merupakan potensi besar yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal. Pemahaman yang baik mengenai karakteristik masing-masing varietas serta kondisi lingkungan tempat tumbuhnya akan mendukung pemilihan bahan baku yang optimal. Integrasi antara aspek varietas, budidaya, dan teknologi pengolahan menjadi kunci dalam menghasilkan produk pangan berbasis labu kuning yang berkualitas tinggi dan memiliki nilai tambah yang signifikan.

2.3 Kondisi Tumbuh dan Produksi

Labu kuning merupakan tanaman yang memiliki kemampuan adaptasi luas terhadap berbagai kondisi lingkungan, terutama di wilayah tropis dan subtropis. Tanaman ini dapat tumbuh optimal pada suhu berkisar antara 25–30°C dengan intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi. Ketersediaan sinar matahari yang memadai sangat penting untuk mendukung proses fotosintesis, yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan vegetatif dan pembentukan buah. Selain itu, labu kuning juga membutuhkan curah hujan yang cukup, namun tidak berlebihan, karena kondisi kelembapan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko serangan penyakit.

Berdasarkan kondisi tanah, labu kuning dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, namun pertumbuhan optimal umumnya dicapai pada tanah yang gembur, subur, dan memiliki drainase yang baik. Tanah dengan pH berkisar antara 5,5 hingga 7,0 dianggap ideal untuk pertumbuhan tanaman ini. Struktur tanah yang baik memungkinkan

perkembangan sistem perakaran secara optimal, sehingga penyerapan air dan unsur hara dapat berlangsung secara efisien. Selain itu, kandungan bahan organik yang cukup dalam tanah juga berperan penting dalam meningkatkan kesuburan dan mendukung pertumbuhan tanaman.

Kebutuhan air merupakan faktor penting dalam budidaya labu kuning, terutama pada fase awal pertumbuhan dan pembentukan buah. Tanaman ini memerlukan suplai air yang cukup untuk mendukung proses metabolisme dan perkembangan jaringan tanaman. Namun, kondisi genangan air harus dihindari karena dapat menyebabkan pembusukan akar dan menurunkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, sistem irigasi yang baik serta pengelolaan drainase menjadi aspek penting dalam budidaya labu kuning, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi.

Dalam praktik budidaya, pemilihan varietas yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat juga sangat menentukan keberhasilan produksi. Varietas yang adaptif terhadap kondisi iklim dan tahan terhadap hama serta penyakit akan memberikan hasil yang lebih stabil dan produktivitas yang lebih tinggi. Selain itu, penerapan teknik budidaya yang baik, seperti pengolahan lahan, pemupukan berimbang, pengendalian hama dan penyakit, serta pengaturan jarak tanam, juga berperan penting dalam meningkatkan hasil produksi.

Produksi labu kuning dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor lingkungan maupun faktor manajemen budidaya. Faktor lingkungan meliputi suhu, curah hujan, kelembapan, dan kesuburan tanah, sedangkan faktor manajemen mencakup teknik penanaman, pemupukan, irigasi, serta pengendalian organisme pengganggu tanaman. Interaksi antara faktor-faktor tersebut akan menentukan jumlah dan kualitas hasil panen. Buah yang dihasilkan dapat bervariasi dalam ukuran, berat, dan kualitas daging, tergantung pada kondisi pertumbuhan dan perawatan tanaman.

Secara umum, produktivitas labu kuning cukup tinggi dan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai komoditas agribisnis

yang menguntungkan. Dalam kondisi optimal, satu tanaman dapat menghasilkan beberapa buah dengan berat yang bervariasi, sehingga memberikan nilai ekonomi yang cukup baik bagi petani. Selain itu, masa panen yang relatif singkat, yaitu sekitar 90–120 hari setelah tanam, memungkinkan perputaran produksi yang cepat. Hal ini menjadi salah satu keunggulan dalam pengembangan labu kuning sebagai bahan baku industri pangan.

Dengan demikian, pemahaman yang baik mengenai kondisi tumbuh dan faktor-faktor yang memengaruhi produksi labu kuning menjadi sangat penting dalam mendukung pengembangan komoditas ini secara berkelanjutan. Optimalisasi kondisi lingkungan dan penerapan teknik budidaya yang tepat akan menghasilkan bahan baku dengan kualitas yang konsisten, yang pada akhirnya akan mendukung pengembangan produk pangan fungsional berbasis labu kuning. Integrasi antara aspek agronomi dan kebutuhan industri menjadi kunci dalam meningkatkan nilai tambah dan daya saing komoditas ini di pasar.

2.4 Karakteristik Fisik dan Kimia

Karakteristik fisik dan kimia labu kuning merupakan aspek fundamental yang menentukan kualitas bahan baku serta kesesuaiannya dalam berbagai aplikasi pangan. Secara fisik, labu kuning memiliki variasi bentuk yang cukup beragam, mulai dari bulat, lonjong, hingga pipih, dengan ukuran yang bervariasi tergantung pada varietas dan kondisi lingkungan tumbuh. Kulit buah umumnya memiliki warna hijau hingga oranye dengan ketebalan yang berbeda-beda, sedangkan daging buah berwarna kuning hingga oranye cerah. Intensitas warna daging buah ini sering dikaitkan dengan kandungan karotenoid, terutama β -karoten, yang berperan sebagai indikator kualitas nutrisi dan daya tarik visual produk.

Dari segi tekstur, daging buah labu kuning memiliki karakteristik yang relatif lunak dan sedikit berserat, dengan kadar air yang cukup tinggi. Tekstur ini memberikan kemudahan dalam proses

pengolahan, baik dalam bentuk segar maupun setelah dikonversi menjadi produk antara seperti puree atau tepung. Kandungan air yang tinggi berkontribusi terhadap kelembutan tekstur, namun juga menjadi tantangan dalam hal stabilitas dan umur simpan bahan. Oleh karena itu, pengolahan lanjutan seperti pengeringan diperlukan untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan daya simpan serta fleksibilitas penggunaan dalam formulasi produk.

Secara kimia, labu kuning didominasi oleh kandungan karbohidrat, terutama dalam bentuk pati dan gula sederhana. Kandungan pati dalam labu kuning berperan penting dalam menentukan sifat fungsional, seperti daya serap air, viskositas, dan kemampuan gelatinisasi. Selain itu, keberadaan gula sederhana seperti glukosa dan sukrosa memberikan rasa manis alami yang dapat meningkatkan penerimaan sensoris produk. Komposisi karbohidrat ini menjadikan labu kuning sebagai bahan yang potensial dalam pengembangan produk pangan dengan karakteristik tekstur dan rasa yang baik.

Selain karbohidrat, labu kuning juga mengandung protein dalam jumlah relatif rendah serta lemak dalam jumlah yang sangat kecil. Meskipun demikian, kandungan protein tetap memiliki peran dalam interaksi dengan komponen lain dalam sistem pangan, seperti pati dan serat, yang dapat memengaruhi struktur dan sifat fisik produk. Kandungan lemak yang rendah menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang sesuai untuk diet rendah lemak, sehingga relevan dalam pengembangan produk pangan sehat.

Komponen kimia lain yang penting dalam labu kuning adalah serat pangan, yang terdiri atas serat larut dan tidak larut. Serat pangan berperan dalam meningkatkan kapasitas retensi air, memperbaiki tekstur produk, serta memberikan manfaat kesehatan, terutama dalam menjaga fungsi saluran pencernaan. Selain itu, serat juga dapat memengaruhi pencernaan pati dan respons glikemik, sehingga menjadi komponen penting dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning.

Labu kuning juga kaya akan senyawa bioaktif, seperti karotenoid (terutama β -karoten), senyawa fenolik, dan vitamin (Kulczyński & Gramza-Michałowska, 2019). Senyawa β -karoten berfungsi sebagai antioksidan yang dapat melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas, serta sebagai prekursor vitamin A yang penting bagi kesehatan mata dan sistem imun (Ebadi *et al.*, 2023). Senyawa fenolik juga berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, sementara vitamin seperti vitamin C dan vitamin E berperan dalam meningkatkan sistem pertahanan tubuh. Kandungan bioaktif ini menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang memiliki nilai tambah dalam konteks kesehatan.

Dengan demikian, karakteristik fisik dan kimia labu kuning memiliki implikasi yang signifikan terhadap kualitas bahan baku dan produk akhir. Pemahaman yang mendalam mengenai sifat-sifat tersebut memungkinkan optimalisasi proses pengolahan serta pengembangan produk yang memiliki kualitas sensoris, nilai gizi, dan fungsi kesehatan yang optimal. Integrasi antara karakteristik fisik dan kimia dengan pendekatan teknologi pangan menjadi kunci dalam memaksimalkan potensi labu kuning sebagai bahan baku dalam pengembangan pangan fungsional.

2.5 Potensi Agronomis

Tanaman labu kuning memiliki potensi agronomis yang sangat besar sebagai komoditas unggulan dalam sistem pertanian berkelanjutan. Tanaman ini dikenal memiliki daya adaptasi yang luas terhadap berbagai kondisi agroekologi, baik di dataran rendah maupun dataran tinggi, serta mampu tumbuh pada berbagai tipe tanah dengan tingkat kesuburan yang berbeda. Kemampuan adaptasi ini menjadikan labu kuning sebagai tanaman yang relatif mudah dibudidayakan oleh petani dengan berbagai tingkat sumber daya, sehingga memiliki prospek yang baik dalam pengembangan pertanian berbasis lokal.

Salah satu keunggulan agronomis labu kuning adalah efisiensi dalam pemanfaatan lahan. Tanaman ini memiliki sistem pertumbuhan

menjalar yang memungkinkan pemanfaatan ruang secara optimal, baik secara horizontal maupun vertikal melalui penggunaan ajir atau sistem rambatan. Selain itu, labu kuning juga dapat ditanam sebagai tanaman sela atau dalam sistem tumpangsari dengan komoditas lain, seperti jagung atau kacang-kacangan, sehingga meningkatkan produktivitas lahan dan efisiensi penggunaan sumber daya pertanian.

Dari segi produktivitas, labu kuning memiliki potensi hasil yang cukup tinggi dengan waktu panen yang relatif singkat, yaitu sekitar 90–120 hari setelah tanam. Dalam kondisi budidaya yang optimal, satu tanaman dapat menghasilkan beberapa buah dengan bobot yang bervariasi, sehingga memberikan nilai ekonomi yang menarik bagi petani. Selain itu, kemampuan tanaman ini untuk berproduksi secara konsisten sepanjang musim tanam menjadikannya sebagai komoditas yang stabil dalam mendukung ketersediaan bahan baku bagi industri pangan.

Labu kuning juga memiliki ketahanan yang relatif baik terhadap kondisi lingkungan yang kurang ideal, seperti kekeringan ringan dan fluktuasi suhu. Meskipun demikian, tanaman ini tetap memerlukan pengelolaan budidaya yang baik untuk mencapai hasil optimal, termasuk dalam hal pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama dan penyakit. Ketahanan relatif terhadap stres lingkungan ini menjadi salah satu faktor penting yang mendukung keberlanjutan produksi, terutama dalam menghadapi perubahan iklim yang semakin tidak menentu.

Dalam konteks pengembangan pertanian berkelanjutan, labu kuning memiliki potensi untuk diintegrasikan dalam sistem pertanian ramah lingkungan. Tanaman ini dapat dibudidayakan dengan input kimia yang relatif rendah, terutama jika dikombinasikan dengan praktik pertanian organik atau penggunaan pupuk hayati. Selain itu, limbah tanaman, seperti daun dan batang, dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau bahan kompos, sehingga mendukung siklus pertanian yang lebih efisien dan minim limbah.

Potensi agronomis labu kuning juga didukung oleh tingginya permintaan pasar terhadap produk berbasis bahan alami dan pangan fungsional. Hal ini memberikan peluang bagi petani untuk meningkatkan nilai tambah melalui pengolahan pascapanen, seperti produksi tepung labu kuning atau produk olahan lainnya. Dengan adanya dukungan teknologi dan akses pasar yang memadai, labu kuning dapat berkembang tidak hanya sebagai komoditas pertanian, tetapi juga sebagai bahan baku industri yang bernilai ekonomi tinggi.

Dengan demikian, labu kuning memiliki potensi agronomis yang kuat untuk dikembangkan sebagai komoditas strategis dalam sistem pangan masa depan. Integrasi antara keunggulan budidaya, produktivitas tinggi, serta peluang pengembangan produk bernilai tambah menjadikan tanaman ini sebagai pilihan yang tepat dalam mendukung ketahanan pangan dan pembangunan ekonomi berbasis sumber daya lokal. Optimalisasi potensi agronomis ini memerlukan sinergi antara petani, peneliti, dan pelaku industri agar dapat menghasilkan sistem produksi yang efisien, berkelanjutan, dan berdaya saing tinggi.

BAB 3.

KOMPOSISI KIMIA DAN NILAI GIZI

3.1 Komposisi Proksimat

Komposisi proksimat merupakan parameter dasar yang digunakan untuk menggambarkan kandungan nutrisi utama suatu bahan pangan, yang meliputi kadar air, abu, protein, lemak, dan karbohidrat. Analisis ini menjadi langkah awal yang penting dalam mengevaluasi kualitas gizi serta potensi pemanfaatan suatu bahan dalam pengembangan produk pangan. Pada labu kuning, komposisi proksimat menunjukkan karakteristik sebagai bahan pangan rendah energi dengan kandungan air yang tinggi, sehingga cocok dikembangkan sebagai bahan pangan sehat dan rendah kalori. Komposisi proksimat labu kuning disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3. Komposisi Proksimat Labu Kuning per 100 g Bahan Segar

Komponen	Kadar
Air	88,0 – 92,0%
Abu	0,5 – 1,0%
Protein	1,0 – 1,5%
Lemak	0,1 – 0,3%
Karbohidrat	5,0 – 8,0%
Serat pangan	0,5 – 1,5%
Energi	20 – 30 kkal

Sumber: (Men *et al.*, 2021)

Kadar air merupakan komponen terbesar dalam labu kuning, yang umumnya berkisar antara 85–92% pada kondisi segar (Rodionova *et al.*, 2022). Tingginya kadar air ini memberikan tekstur

yang lunak dan mudah diolah, namun juga menjadi faktor pembatas dalam hal umur simpan karena meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme dan kerusakan bahan. Oleh karena itu, pengolahan seperti pengeringan sering dilakukan untuk menurunkan kadar air dan meningkatkan stabilitas produk, terutama dalam bentuk tepung atau produk kering lainnya.

Kandungan abu dalam analisis proksimat mencerminkan total mineral yang terdapat dalam bahan pangan. Pada labu kuning, kadar abu relatif rendah, namun tetap menunjukkan keberadaan mineral penting seperti kalium, kalsium, dan magnesium. Mineral-mineral ini berperan dalam berbagai fungsi fisiologis, termasuk regulasi tekanan darah, kontraksi otot, dan keseimbangan elektrolit. Meskipun jumlahnya tidak dominan, keberadaan mineral tetap memberikan kontribusi terhadap nilai gizi labu kuning.

Kandungan protein dalam labu kuning tergolong rendah, umumnya berkisar antara 1–2% pada basis segar (Aldakhoul *et al.*, 2024). Meskipun demikian, protein tetap memiliki peran penting dalam interaksi dengan komponen lain dalam matriks pangan, seperti pati dan serat. Interaksi ini dapat memengaruhi sifat fisik dan tekstur produk olahan, terutama pada proses pemanasan dan gelatinisasi. Oleh karena itu, meskipun kandungan protein tidak tinggi, keberadaannya tetap relevan dalam formulasi produk pangan.

Lemak merupakan komponen yang paling sedikit dalam komposisi proksimat labu kuning, dengan kadar umumnya kurang dari 1% (Pinna *et al.*, 2024). Kandungan lemak yang rendah menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang sesuai untuk diet rendah lemak dan pengembangan produk pangan sehat. Selain itu, rendahnya kandungan lemak juga berkontribusi terhadap stabilitas oksidatif bahan, karena risiko ketengikan akibat oksidasi lemak menjadi lebih kecil dibandingkan dengan bahan pangan yang tinggi lemak.

Karbohidrat merupakan komponen utama kedua setelah air dalam labu kuning, yang sebagian besar terdiri atas pati dan gula sederhana. Kandungan karbohidrat ini memberikan kontribusi

terhadap energi serta memengaruhi sifat fungsional bahan, seperti kemampuan menyerap air dan membentuk gel. Gula sederhana yang terdapat dalam labu kuning juga memberikan rasa manis alami, yang dapat meningkatkan penerimaan sensoris produk tanpa perlu penambahan gula dalam jumlah besar. Selain itu, sebagian karbohidrat dalam bentuk serat pangan memberikan manfaat tambahan bagi kesehatan.

Dengan demikian, komposisi proksimat labu kuning menunjukkan bahwa bahan ini memiliki karakteristik sebagai pangan rendah kalori, rendah lemak, dan kaya air dengan kandungan karbohidrat yang cukup untuk mendukung fungsi energi dan sifat fungsional. Pemahaman terhadap komposisi proksimat ini sangat penting dalam menentukan strategi pengolahan dan formulasi produk pangan. Integrasi antara data proksimat dan sifat fungsional akan membantu dalam mengoptimalkan pemanfaatan labu kuning sebagai bahan baku dalam pengembangan pangan fungsional yang berkualitas dan menyehatkan.

3.2 Vitamin dan Mineral

Vitamin dan mineral merupakan komponen mikronutrien yang berperan penting dalam menjaga fungsi fisiologis tubuh serta mendukung berbagai proses metabolisme. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil, keberadaan vitamin dan mineral dalam pangan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan. Labu kuning dikenal sebagai salah satu sumber mikronutrien yang cukup baik, terutama karena kandungan vitamin dan mineralnya yang beragam serta berpotensi memberikan efek kesehatan yang menguntungkan.

Salah satu vitamin utama yang terkandung dalam labu kuning adalah β -karoten, yang merupakan prekursor vitamin A. β -karoten berperan penting dalam menjaga kesehatan mata, mendukung fungsi sistem imun, serta bertindak sebagai antioksidan yang melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas. Warna oranye cerah pada daging

buah labu kuning menjadi indikator tingginya kandungan karotenoid, termasuk β -karoten. Setelah dikonsumsi, β -karoten akan dikonversi menjadi vitamin A dalam tubuh sesuai dengan kebutuhan fisiologis.

Selain β -karoten, labu kuning juga mengandung vitamin C yang berperan sebagai antioksidan serta mendukung sistem kekebalan tubuh. Vitamin C membantu dalam pembentukan kolagen, yang penting untuk kesehatan kulit dan jaringan ikat, serta meningkatkan penyerapan zat besi dalam tubuh. Kandungan vitamin C dalam labu kuning memberikan kontribusi terhadap perlindungan sel dari stres oksidatif, terutama dalam kondisi paparan radikal bebas yang tinggi akibat pola hidup modern.

Vitamin lain yang terdapat dalam labu kuning adalah vitamin E, yang juga memiliki fungsi sebagai antioksidan. Vitamin E berperan dalam melindungi membran sel dari kerusakan oksidatif serta mendukung kesehatan sistem kardiovaskular. Selain itu, labu kuning juga mengandung beberapa vitamin dari kelompok B, seperti vitamin B1 (tiamin), B2 (riboflavin), dan B6 (piridoksin) (Alqahtani, 2026). Vitamin tersebut berperan dalam metabolisme energi serta fungsi sistem saraf. Keberadaan vitamin-vitamin ini menjadikan labu kuning sebagai sumber mikronutrien yang cukup lengkap.

Dari sisi mineral, labu kuning mengandung kalium dalam jumlah yang relatif tinggi. Kalium berperan penting dalam menjaga keseimbangan cairan tubuh, mengatur tekanan darah, serta mendukung fungsi otot dan saraf. Konsumsi pangan yang kaya kalium, seperti labu kuning, dapat membantu mengurangi risiko hipertensi dan penyakit kardiovaskular. Selain kalium, labu kuning juga mengandung mineral lain seperti kalsium, magnesium, dan fosfor, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil.

Mineral mikro seperti zat besi dan seng juga ditemukan dalam labu kuning, meskipun dalam konsentrasi yang tidak terlalu tinggi. Zat besi berperan dalam pembentukan hemoglobin dan transportasi oksigen dalam darah, sedangkan seng penting untuk fungsi imun, sintesis protein, dan penyembuhan luka. Meskipun kontribusi mineral

mikro ini relatif kecil, keberadaannya tetap memberikan nilai tambah dalam konteks pemenuhan kebutuhan gizi harian, terutama jika dikonsumsi sebagai bagian dari diet yang seimbang.

Dengan demikian, kandungan vitamin dan mineral dalam labu kuning menunjukkan bahwa bahan ini memiliki potensi sebagai sumber mikronutrien yang mendukung kesehatan tubuh. Kombinasi antara vitamin antioksidan dan mineral esensial menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang tidak hanya bergizi, tetapi juga berkontribusi dalam pencegahan berbagai penyakit. Pemahaman terhadap komposisi mikronutrien ini sangat penting dalam pengembangan produk pangan fungsional yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas diet dan kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

3.3 Serat Pangan

Serat pangan merupakan komponen penting dalam bahan pangan nabati yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia, namun memiliki peran fisiologis yang signifikan dalam menjaga kesehatan. Dalam konteks pangan fungsional, serat pangan menjadi salah satu komponen utama yang berkontribusi terhadap berbagai manfaat kesehatan, terutama dalam sistem pencernaan dan metabolisme. Labu kuning mengandung serat pangan dalam jumlah yang cukup, baik dalam bentuk serat larut maupun tidak larut (Shajan *et al.*, 2024). Serat tersebut berpotensi memberikan efek positif bagi kesehatan tubuh.

Serat larut dalam labu kuning memiliki kemampuan untuk membentuk gel dalam saluran pencernaan, yang berperan dalam memperlambat proses pengosongan lambung dan penyerapan nutrisi (Yan *et al.*, 2025). Mekanisme ini membantu dalam mengontrol kadar glukosa darah serta menurunkan kadar kolesterol dengan cara mengikat asam empedu. Selain itu, serat larut juga berfungsi sebagai substrat bagi mikrobiota usus, sehingga berkontribusi dalam meningkatkan kesehatan mikroflora usus melalui produksi asam

lemak rantai pendek seperti asetat, propionat, dan butirat (Sato *et al.*, 2022).

Sementara itu, serat tidak larut berperan dalam meningkatkan volume feses dan mempercepat waktu transit dalam saluran pencernaan. Fungsi ini sangat penting dalam mencegah konstipasi serta menjaga kesehatan usus besar. Serat tidak larut juga membantu dalam membersihkan saluran pencernaan dari sisa metabolisme, sehingga dapat mengurangi risiko gangguan pencernaan dan penyakit usus. Kombinasi antara serat larut dan tidak larut dalam labu kuning memberikan efek sinergis dalam menjaga fungsi saluran pencernaan secara optimal.

Selain manfaat terhadap sistem pencernaan, serat pangan juga berperan dalam pengendalian berat badan. Serat memiliki kemampuan untuk memberikan rasa kenyang lebih lama, sehingga dapat mengurangi asupan energi secara keseluruhan. Hal ini menjadikan pangan yang kaya serat, termasuk labu kuning, sebagai pilihan yang baik dalam program diet sehat. Selain itu, serat juga berperan dalam mengatur metabolisme lipid dan glukosa, sehingga dapat membantu dalam pencegahan obesitas dan penyakit metabolik.

Dalam wawasan teknologi pangan, kandungan serat dalam labu kuning juga memengaruhi sifat fungsional bahan, seperti daya serap air, viskositas, dan tekstur produk. Serat pangan dapat meningkatkan kapasitas retensi air, yang berpengaruh terhadap kelembutan dan stabilitas produk olahan. Selain itu, keberadaan serat juga dapat memengaruhi struktur matriks pangan, terutama dalam produk berbasis tepung, sehingga berdampak pada karakteristik fisik dan sensoris produk akhir.

Pengolahan labu kuning dapat memengaruhi kandungan dan karakteristik serat pangan (Konrade *et al.*, 2018). Proses seperti pengeringan, pemanasan, dan ekstrusi dapat menyebabkan perubahan pada struktur serat, yang dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaannya dalam sistem pencernaan. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan yang tepat menjadi penting untuk

mempertahankan atau meningkatkan manfaat fungsional serat dalam produk pangan. Selain itu, kombinasi labu kuning dengan bahan lain yang kaya serat dapat meningkatkan nilai fungsional produk secara keseluruhan.

Dengan demikian, serat pangan dalam labu kuning memiliki peran penting baik dari aspek kesehatan maupun teknologi pangan. Keberadaan serat tidak hanya memberikan manfaat fisiologis, tetapi juga berkontribusi terhadap kualitas produk pangan yang dihasilkan. Pemanfaatan labu kuning sebagai sumber serat dalam pengembangan pangan fungsional menjadi strategi yang potensial dalam meningkatkan kualitas diet dan mendukung kesehatan masyarakat. Integrasi antara pemahaman nutrisi dan teknologi pengolahan akan memungkinkan optimalisasi peran serat pangan dalam produk berbasis labu kuning.

3.4 Karotenoid dan Pigmen

Karotenoid merupakan kelompok pigmen alami yang berperan penting dalam menentukan warna serta nilai fungsional suatu bahan pangan. Pada labu kuning, karotenoid menjadi komponen utama yang memberikan warna kuning hingga oranye cerah pada daging buah. Warna ini tidak hanya berfungsi sebagai daya tarik visual, tetapi juga menjadi indikator kandungan senyawa bioaktif, khususnya β -karoten. Dalam konteks pangan fungsional, keberadaan karotenoid menjadikan labu kuning sebagai bahan yang memiliki nilai tambah dari segi kesehatan.

Senyawa β -karoten merupakan jenis karotenoid yang paling dominan dalam labu kuning dan memiliki peran sebagai provitamin A (Zahra *et al.*, 2020). Senyawa ini dapat dikonversi menjadi vitamin A dalam tubuh, yang penting untuk menjaga kesehatan mata, mendukung sistem imun, serta berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan sel. Selain itu, β -karoten juga memiliki aktivitas antioksidan yang mampu menetralkan radikal bebas (Ma *et al.*, 2021). Senyawa β -karoten dapat berperan mencegah kerusakan sel dan

mengurangi risiko penyakit degeneratif. Tingginya kandungan β -karoten menjadikan labu kuning sebagai sumber nutrisi penting dalam diet sehat.

Selain β -karoten, labu kuning juga mengandung jenis karotenoid lain seperti lutein dan zeaksantin, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil (Jaswir *et al.*, 2014). Kedua senyawa ini berperan dalam menjaga kesehatan mata, khususnya dalam melindungi retina dari kerusakan akibat paparan cahaya biru dan stres oksidatif. Lutein dan zeaksantin juga diketahui memiliki potensi dalam mengurangi risiko degenerasi makula terkait usia (Jia *et al.*, 2017). Dengan demikian, kombinasi berbagai jenis karotenoid dalam labu kuning memberikan manfaat kesehatan yang lebih luas.

Pigmen lain yang terdapat dalam labu kuning meliputi klorofil dan senyawa fenolik yang juga berkontribusi terhadap warna dan aktivitas biologis bahan (Mashiane *et al.*, 2021). Meskipun klorofil umumnya ditemukan pada bagian tanaman yang masih muda, keberadaannya dalam jumlah kecil dapat memengaruhi warna kulit buah. Sementara itu, senyawa fenolik berperan dalam memberikan warna serta memiliki aktivitas antioksidan yang mendukung fungsi karotenoid. Interaksi antara berbagai pigmen ini menghasilkan karakteristik warna yang khas serta meningkatkan nilai fungsional bahan.

Karakteristik karotenoid dan pigmen dalam labu kuning sangat dipengaruhi oleh faktor varietas, kondisi lingkungan, serta tingkat kematangan buah. Varietas dengan warna daging yang lebih intens biasanya memiliki kandungan karotenoid yang lebih tinggi. Selain itu, kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan kesuburan tanah juga dapat memengaruhi biosintesis karotenoid dalam tanaman. Buah yang dipanen pada tingkat kematangan optimal cenderung memiliki kandungan pigmen yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah yang belum matang.

Dalam proses pengolahan, karotenoid memiliki sifat yang relatif sensitif terhadap panas, oksigen, dan cahaya. Proses pemanasan yang

berlebihan dapat menyebabkan degradasi karotenoid, sehingga menurunkan nilai nutrisi dan intensitas warna. Namun, dalam beberapa kasus, pengolahan tertentu seperti pemanasan ringan dapat meningkatkan ketersediaan hayati (bioavailabilitas) karotenoid dengan cara memecah struktur sel dan melepaskan pigmen dari matriks pangan. Oleh karena itu, pengendalian kondisi proses menjadi penting untuk mempertahankan kualitas karotenoid dalam produk olahan.

Dengan demikian, karotenoid dan pigmen dalam labu kuning memiliki peran yang sangat penting baik dari aspek visual maupun fungsional. Selain memberikan warna yang menarik, senyawa-senyawa ini juga berkontribusi terhadap manfaat kesehatan yang signifikan. Pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik, stabilitas, dan interaksi karotenoid dengan komponen lain dalam pangan akan mendukung pengembangan produk pangan fungsional berbasis labu kuning yang berkualitas tinggi dan bernilai tambah.

3.5 Stabilitas Nutrisi

Stabilitas nutrisi merupakan aspek penting dalam menentukan kualitas bahan pangan dan produk olahan, terutama dalam konteks pengembangan pangan fungsional (Yuan *et al.*, 2024). Stabilitas ini merujuk pada kemampuan komponen gizi, baik makronutrien maupun mikronutrien, untuk tetap terjaga selama proses pengolahan, penyimpanan, dan distribusi. Pada labu kuning, stabilitas nutrisi menjadi faktor kunci karena bahan ini mengandung berbagai senyawa bioaktif yang relatif sensitif terhadap kondisi lingkungan, seperti suhu, cahaya, oksigen, dan kelembapan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai stabilitas nutrisi sangat diperlukan untuk memastikan bahwa manfaat kesehatan dari labu kuning tetap optimal hingga dikonsumsi.

Kandungan vitamin dalam labu kuning, khususnya vitamin C dan β -karoten, memiliki tingkat stabilitas yang berbeda terhadap proses pengolahan (Gil-Gaxiola *et al.*, 2026). Vitamin C dikenal sangat sensitif terhadap panas, oksigen, dan cahaya, sehingga mudah

mengalami degradasi selama proses pemanasan atau penyimpanan yang tidak tepat. Sebaliknya, β -karoten relatif lebih stabil terhadap panas dibandingkan vitamin C, namun tetap dapat mengalami degradasi akibat oksidasi dan paparan cahaya. Oleh karena itu, metode pengolahan yang tepat, seperti pengeringan suhu rendah atau pemanasan terkendali, sangat penting untuk mempertahankan kandungan vitamin dalam produk berbasis labu kuning.

Selain vitamin, senyawa bioaktif lain seperti fenolik dan karotenoid juga dipengaruhi oleh kondisi pengolahan dan penyimpanan. Senyawa fenolik dapat mengalami perubahan struktur akibat oksidasi atau interaksi dengan komponen lain dalam matriks pangan, yang dapat memengaruhi aktivitas antioksidannya. Karotenoid, meskipun relatif lebih stabil, tetap rentan terhadap degradasi jika terpapar oksigen dan cahaya dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, pengemasan yang tepat, seperti penggunaan kemasan kedap udara dan cahaya, menjadi strategi penting dalam menjaga stabilitas senyawa bioaktif.

Stabilitas nutrisi juga dipengaruhi oleh bentuk bahan pangan, apakah dalam kondisi segar, kering, atau telah mengalami pengolahan lebih lanjut. Pada labu kuning segar, kadar air yang tinggi dapat mempercepat reaksi kimia dan aktivitas mikroorganisme yang menyebabkan penurunan kualitas nutrisi. Pengolahan menjadi bentuk kering, seperti tepung, dapat meningkatkan stabilitas dengan menurunkan kadar air, namun tetap memerlukan kondisi penyimpanan yang baik untuk mencegah degradasi nutrisi. Dengan demikian, pemilihan bentuk bahan dan metode penyimpanan menjadi faktor penting dalam mempertahankan kualitas nutrisi.

Interaksi antar komponen dalam matriks pangan juga berperan dalam menentukan stabilitas nutrisi. Misalnya, keberadaan lemak dalam jumlah kecil dapat membantu meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas karotenoid, karena senyawa ini bersifat larut dalam lemak. Sebaliknya, keberadaan logam tertentu dapat mempercepat reaksi oksidasi yang merusak vitamin dan senyawa bioaktif. Oleh

karena itu, formulasi produk yang tepat perlu mempertimbangkan interaksi antar komponen untuk menjaga stabilitas nutrisi secara optimal.

Faktor penyimpanan, seperti suhu, kelembapan, dan lama penyimpanan, juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas nutrisi. Penyimpanan pada suhu tinggi dan kelembapan yang tinggi dapat mempercepat degradasi nutrisi serta meningkatkan risiko kerusakan mikrobiologis. Sebaliknya, penyimpanan pada suhu rendah dan kondisi kering dapat memperlambat proses degradasi dan memperpanjang umur simpan produk. Oleh karena itu, pengendalian kondisi penyimpanan menjadi bagian penting dalam menjaga kualitas produk pangan berbasis labu kuning.

Dengan demikian, stabilitas nutrisi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning. Upaya untuk mempertahankan kandungan nutrisi harus dilakukan secara menyeluruh, mulai dari pemilihan bahan baku, metode pengolahan, hingga kondisi penyimpanan. Pendekatan yang tepat akan memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya memiliki kualitas sensoris yang baik, tetapi juga mampu memberikan manfaat kesehatan yang optimal bagi konsumen. Integrasi antara ilmu nutrisi dan teknologi pangan menjadi kunci dalam menjaga stabilitas nutrisi dalam produk pangan berbasis labu kuning.

BAB 4.

SENYAWA BIOAKTIF DAN AKTIVITAS FISIOLOGIS

4.1 β -karoten dan Provitamin A

β -karoten merupakan salah satu senyawa karotenoid utama yang banyak ditemukan pada bahan pangan berwarna kuning hingga oranye, termasuk labu kuning (Akram *et al.*, 2021). Senyawa ini memiliki peran penting sebagai provitamin A, yaitu prekursor yang dapat dikonversi menjadi vitamin A aktif dalam tubuh. Dalam konteks pangan fungsional, β -karoten menjadi komponen kunci karena tidak hanya berfungsi sebagai sumber vitamin esensial, tetapi juga memiliki aktivitas biologis sebagai antioksidan. Kandungan β -karoten yang tinggi menjadikan labu kuning sebagai salah satu bahan pangan yang potensial dalam mendukung pemenuhan kebutuhan vitamin A secara alami.

Vitamin A merupakan nutrisi penting yang berperan dalam berbagai fungsi fisiologis, termasuk kesehatan mata, sistem imun, pertumbuhan sel, dan diferensiasi jaringan (Sajovic *et al.*, 2022). Kekurangan vitamin A dapat menyebabkan gangguan penglihatan, seperti rabun senja, serta meningkatkan kerentanan terhadap infeksi. Dalam hal ini, β -karoten sebagai provitamin A memiliki peran strategis karena dapat dikonversi menjadi vitamin A sesuai dengan kebutuhan tubuh, sehingga lebih aman dibandingkan dengan konsumsi vitamin A dalam bentuk aktif yang berisiko menyebabkan toksisitas jika dikonsumsi berlebihan.

Proses konversi β -karoten menjadi vitamin A terjadi di dalam usus halus melalui aktivitas enzim β -karoten 15,15'-dioksigenase, yang memecah molekul β -karoten menjadi dua molekul retinol (Harrison & Kopec, 2020). Efisiensi konversi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti status gizi individu, keberadaan lemak dalam

makanan, serta kondisi kesehatan saluran pencernaan. Karena β -karoten bersifat larut dalam lemak, keberadaan lipid dalam diet dapat meningkatkan absorpsi dan bioavailabilitasnya. Oleh karena itu, konsumsi labu kuning bersama sumber lemak sehat dapat meningkatkan efektivitas pemanfaatan β -karoten dalam tubuh.

Selain sebagai provitamin A, β -karoten juga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Senyawa ini mampu menetralkan radikal bebas yang terbentuk akibat proses metabolisme maupun paparan lingkungan, seperti polusi dan radiasi (Matić *et al.*, 2026). Dengan demikian, β -karoten berperan dalam melindungi sel dari kerusakan oksidatif yang dapat memicu berbagai penyakit degeneratif, termasuk penyakit kardiovaskular dan kanker. Aktivitas antioksidan ini menjadikan β -karoten sebagai komponen penting dalam pangan fungsional yang berorientasi pada pencegahan penyakit.

Kandungan β -karoten dalam labu kuning dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti varietas, tingkat kematangan, serta kondisi lingkungan selama pertumbuhan. Varietas dengan warna daging buah yang lebih oranye cenderung memiliki kandungan β -karoten yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas yang berwarna pucat. Selain itu, buah yang dipanen pada tingkat kematangan optimal umumnya memiliki kandungan karotenoid yang lebih tinggi. Faktor lingkungan seperti intensitas cahaya dan suhu juga berperan dalam biosintesis β -karoten dalam tanaman (Saini & Keum, 2018).

Dalam proses pengolahan, stabilitas β -karoten menjadi perhatian penting karena senyawa ini dapat mengalami degradasi akibat paparan panas, oksigen, dan cahaya. Namun, pengolahan tertentu seperti pemanasan ringan dapat meningkatkan bioavailabilitas β -karoten dengan cara memecah dinding sel dan melepaskan pigmen dari matriks pangan. Oleh karena itu, pengendalian kondisi proses sangat diperlukan untuk mempertahankan kandungan β -karoten sekaligus meningkatkan ketersediaannya bagi tubuh. Teknik pengolahan yang tepat akan menghasilkan produk dengan nilai gizi yang optimal.

Dengan demikian, β -karoten dalam labu kuning memiliki peran yang sangat penting baik sebagai sumber provitamin A maupun sebagai antioksidan. Keberadaan senyawa ini menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang berpotensi besar dalam mendukung kesehatan masyarakat, terutama dalam pencegahan defisiensi vitamin A dan penyakit degeneratif. Pemanfaatan labu kuning sebagai sumber β -karoten dalam pengembangan pangan fungsional merupakan strategi yang efektif dan berkelanjutan dalam meningkatkan kualitas diet dan kesehatan masyarakat.

4.2 Senyawa Fenolik dan Antioksidan

Senyawa fenolik merupakan kelompok metabolit sekunder yang banyak ditemukan pada bahan pangan nabati dan memiliki peran penting sebagai antioksidan alami. Pada labu kuning, senyawa fenolik berkontribusi terhadap aktivitas biologis yang berkaitan dengan pencegahan penyakit. Senyawa ini mencakup berbagai struktur kimia, seperti asam fenolat, flavonoid, dan tanin, yang masing-masing memiliki kemampuan dalam menangkal radikal bebas. Dalam konteks pangan fungsional, keberadaan senyawa fenolik menjadikan labu kuning tidak hanya sebagai sumber nutrisi, tetapi juga sebagai agen protektif terhadap kerusakan sel (Tlili *et al.*, 2020).

Aktivitas antioksidan senyawa fenolik berkaitan dengan kemampuannya dalam mendonorkan atom hidrogen atau elektron untuk menstabilkan radikal bebas. Radikal bebas yang tidak terkendali dapat menyebabkan stres oksidatif, yang berkontribusi terhadap perkembangan berbagai penyakit degeneratif, seperti penyakit kardiovaskular, kanker, dan gangguan neurodegeneratif. Dengan demikian, konsumsi bahan pangan yang kaya senyawa fenolik, seperti labu kuning, dapat membantu mengurangi dampak negatif dari stres oksidatif dan meningkatkan perlindungan terhadap sel tubuh.

Senyawa fenolik dalam labu kuning juga berperan dalam aktivitas biologis lain, seperti antiinflamasi dan antimikroba (Miljic *et al.*, 2025). Beberapa jenis flavonoid diketahui mampu menghambat

jalur inflamasi dengan menekan produksi mediator proinflamasi, sehingga dapat membantu dalam mengurangi peradangan kronis. Selain itu, senyawa fenolik juga memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme tertentu, sehingga berpotensi digunakan dalam pengembangan produk pangan dengan sifat fungsional tambahan.

Kandungan senyawa fenolik dalam labu kuning dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk varietas, kondisi lingkungan, serta tingkat kematangan buah. Varietas tertentu dapat memiliki profil fenolik yang berbeda, yang berpengaruh terhadap aktivitas antioksidannya. Selain itu, faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan ketersediaan nutrisi tanah juga dapat memengaruhi biosintesis senyawa fenolik dalam tanaman. Buah yang dipanen pada kondisi optimal cenderung memiliki kandungan fenolik yang lebih tinggi dan aktivitas antioksidan yang lebih kuat.

Dalam proses pengolahan, senyawa fenolik dapat mengalami perubahan yang memengaruhi aktivitas antioksidannya. Proses pemanasan dapat menyebabkan degradasi atau transformasi struktur fenolik, namun dalam beberapa kasus juga dapat meningkatkan ketersediaan senyawa tersebut dengan melepaskannya dari matriks sel. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan yang tepat sangat penting untuk mempertahankan atau bahkan meningkatkan aktivitas antioksidan dalam produk berbasis labu kuning. Teknik seperti pengeringan terkendali atau ekstraksi dapat digunakan untuk mengoptimalkan kandungan senyawa fenolik.

Pengukuran aktivitas antioksidan pada bahan pangan umumnya dilakukan menggunakan metode *in vitro*, seperti DPPH, ABTS, atau FRAP (Pastoriza *et al.*, 2011). Metode-metode ini memberikan gambaran mengenai kemampuan bahan dalam menangkal radikal bebas, meskipun tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi *in vivo*. Pada labu kuning, hasil pengukuran menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan berkorelasi dengan kandungan senyawa fenolik dan

karotenoid, yang bekerja secara sinergis dalam memberikan efek protektif terhadap sel.

Dengan demikian, senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan dalam labu kuning memiliki peran penting dalam mendukung kesehatan dan mencegah penyakit. Keberadaan senyawa ini menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang potensial dalam pengembangan pangan fungsional berbasis antioksidan. Pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik dan stabilitas senyawa fenolik akan mendukung pengembangan produk pangan yang tidak hanya memiliki kualitas sensoris yang baik, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan yang optimal.

4.3 Aktivitas Antidiabetes

Aktivitas antidiabetes merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan pangan fungsional, terutama mengingat meningkatnya prevalensi diabetes melitus di berbagai negara. Diabetes melitus merupakan gangguan metabolik yang ditandai oleh peningkatan kadar glukosa darah akibat gangguan sekresi insulin, resistensi insulin, atau keduanya (Monjed, 2021). Dalam konteks ini, pendekatan berbasis diet menjadi salah satu strategi utama dalam pencegahan dan pengelolaan penyakit. Labu kuning memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional yang mendukung pengendalian glukosa darah melalui berbagai mekanisme biologis. Pemberian pakan bubur instan labu kuning dapat meregenerasi kerusakan sel pankreas pada tikus diabetes (Slamet *et al.*, 2022).

Salah satu mekanisme utama aktivitas antidiabetes pada labu kuning berkaitan dengan kandungan serat pangan yang dapat memperlambat penyerapan glukosa di saluran pencernaan (Pawase *et al.*, 2025). Serat, terutama serat larut, mampu membentuk gel yang menghambat difusi glukosa dan memperlambat pengosongan lambung. Proses ini membantu mengurangi lonjakan kadar glukosa darah setelah makan (postprandial), sehingga berkontribusi dalam menjaga kestabilan glikemik. Dengan demikian, konsumsi pangan

50

yang kaya serat, seperti labu kuning, dapat menjadi bagian dari strategi diet untuk penderita diabetes.

Selain serat, senyawa bioaktif seperti β -karoten dan fenolik dalam labu kuning juga berperan dalam aktivitas antidiabetes (Zahra *et al.*, 2020). Senyawa-senyawa ini memiliki aktivitas antioksidan yang dapat mengurangi stres oksidatif, yang diketahui berkontribusi terhadap kerusakan sel β pankreas dan resistensi insulin. Dengan mengurangi stres oksidatif, senyawa bioaktif tersebut dapat membantu menjaga fungsi sel β serta meningkatkan sensitivitas insulin. Hal ini menunjukkan bahwa manfaat labu kuning tidak hanya bersifat mekanis melalui serat, tetapi juga melalui mekanisme biokimia yang lebih kompleks.

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa ekstrak labu kuning memiliki potensi dalam meningkatkan sekresi insulin dan memperbaiki metabolisme glukosa. Senyawa tertentu dalam labu kuning diduga dapat merangsang aktivitas sel β pankreas atau meningkatkan respons jaringan terhadap insulin. Meskipun mekanisme ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut, hasil awal menunjukkan bahwa labu kuning memiliki potensi sebagai agen alami dalam pengelolaan diabetes. Pendekatan ini sejalan dengan tren penggunaan bahan pangan alami dalam terapi komplementer.

Faktor lain yang berkontribusi terhadap aktivitas antidiabetes labu kuning adalah karakteristik pencernaan pati yang dimilikinya. Kandungan pati dalam labu kuning dapat berkontribusi terhadap pembentukan fraksi pati yang lebih lambat dicerna, seperti pati resisten dan pati dengan indeks glikemik rendah. Pangan dengan indeks glikemik rendah diketahui dapat membantu dalam mengontrol kadar glukosa darah secara lebih stabil (Zafar *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pengolahan labu kuning menjadi produk dengan karakteristik pencernaan yang sesuai menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional untuk penderita diabetes.

Dalam pengembangan produk pangan, formulasi berbasis labu kuning dapat dikombinasikan dengan bahan lain untuk meningkatkan

efek antidiabetes. Misalnya, kombinasi dengan bahan tinggi serat atau protein dapat memperlambat pencernaan karbohidrat dan meningkatkan respon glikemik yang lebih baik. Selain itu, teknik pengolahan seperti ekstrusi atau modifikasi pati juga dapat digunakan untuk mengatur sifat pencernaan produk. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk pangan yang tidak hanya bergizi, tetapi juga memiliki fungsi kesehatan yang spesifik. Potensi senyawa bioaktif dan aktivitas fisiologis pada labu kuning disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Potensi senyawa bioaktif dan aktivitas fisiologis pada labu kuning

Dengan demikian, labu kuning memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan pangan fungsional dengan aktivitas antidiabetes. Kombinasi antara kandungan serat, senyawa bioaktif, serta karakteristik pencernaan pati menjadikan labu kuning sebagai bahan yang relevan dalam pengelolaan diabetes melalui pendekatan diet.

Pemanfaatan labu kuning dalam pengembangan produk pangan inovatif dapat memberikan alternatif yang sehat dan alami bagi masyarakat, sekaligus mendukung upaya pencegahan dan pengendalian penyakit metabolik secara berkelanjutan.

4.4 Aktivitas Antiinflamasi

Inflamasi merupakan respons biologis alami tubuh terhadap cedera, infeksi, atau paparan zat asing (Negi *et al.*, 2023). Meskipun berperan penting dalam mekanisme pertahanan, inflamasi yang berlangsung secara kronis dapat menjadi pemicu berbagai penyakit degeneratif, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, obesitas, dan gangguan autoimun. Oleh karena itu, pengendalian inflamasi melalui pendekatan nutrisi menjadi salah satu strategi yang efektif dalam menjaga kesehatan. Dalam konteks ini, labu kuning memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional yang dapat membantu mengurangi respon inflamasi melalui kandungan senyawa bioaktifnya.

Senyawa bioaktif utama dalam labu kuning yang berkontribusi terhadap aktivitas antiinflamasi meliputi karotenoid, terutama β -karoten, serta senyawa fenolik (Chowdhury & Hossen, 2025). β -karoten memiliki kemampuan sebagai antioksidan yang dapat menghambat pembentukan radikal bebas, yang merupakan salah satu pemicu utama inflamasi. Dengan menekan stres oksidatif, β -karoten secara tidak langsung dapat mengurangi aktivasi jalur inflamasi dalam tubuh. Selain itu, senyawa fenolik juga memiliki kemampuan dalam menghambat aktivitas enzim dan mediator inflamasi, seperti siklooksigenase (COX) dan sitokin proinflamasi (Yahfoufi *et al.*, 2018).

Mekanisme antiinflamasi dari senyawa dalam labu kuning juga melibatkan penghambatan jalur sinyal molekuler yang berperan dalam respon inflamasi, seperti jalur nuklir faktor kappa B (NF- κ B) (Huang *et al.*, 2024). Aktivasi NF- κ B diketahui meningkatkan ekspresi gen yang terkait dengan inflamasi, termasuk produksi sitokin proinflamasi seperti tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) dan interleukin (IL-6)

(Liu *et al.*, 2022). Senyawa bioaktif dalam labu kuning dapat menghambat aktivasi jalur ini, sehingga mengurangi produksi mediator inflamasi dan menekan respon inflamasi yang berlebihan.

Selain itu, serat pangan dalam labu kuning juga berkontribusi terhadap aktivitas antiinflamasi melalui modulasi mikrobiota usus. Serat pangan dapat difermentasi oleh mikroorganisme usus menjadi asam lemak rantai pendek, seperti butirat, yang memiliki efek antiinflamasi. Butirat diketahui dapat memperkuat integritas dinding usus serta mengurangi permeabilitas usus, sehingga mencegah masuknya zat proinflamasi ke dalam sirkulasi sistemik. Dengan demikian, konsumsi labu kuning dapat mendukung kesehatan usus sekaligus mengurangi risiko inflamasi sistemik.

Pengaruh pengolahan terhadap aktivitas antiinflamasi juga menjadi aspek penting dalam pengembangan produk pangan berbasis labu kuning. Proses pengolahan dapat memengaruhi kandungan dan ketersediaan senyawa bioaktif yang berperan dalam aktivitas antiinflamasi. Pengolahan yang tepat, seperti pemanasan terkendali, dapat meningkatkan bioavailabilitas karotenoid, sementara pengolahan yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi senyawa aktif. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan yang tepat menjadi penting untuk mempertahankan manfaat antiinflamasi dalam produk akhir.

Dalam pengembangan pangan fungsional, labu kuning dapat dikombinasikan dengan bahan lain yang memiliki sifat antiinflamasi untuk menghasilkan efek sinergis. Misalnya, kombinasi dengan bahan yang kaya polifenol atau asam lemak tak jenuh dapat meningkatkan potensi antiinflamasi produk. Selain itu, formulasi produk yang mempertimbangkan stabilitas dan bioavailabilitas senyawa aktif akan meningkatkan efektivitas produk dalam memberikan manfaat kesehatan. Pendekatan ini membuka peluang dalam pengembangan produk pangan inovatif yang berfokus pada pencegahan penyakit berbasis inflamasi.

Dengan demikian, aktivitas antiinflamasi labu kuning merupakan salah satu aspek penting yang mendukung perannya sebagai pangan fungsional. Kombinasi antara karotenoid, senyawa fenolik, dan serat pangan memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi respon inflamasi melalui berbagai mekanisme biologis. Pemanfaatan labu kuning dalam pola konsumsi sehari-hari maupun dalam bentuk produk olahan dapat menjadi strategi yang efektif dalam menjaga kesehatan dan mencegah penyakit kronis yang berkaitan dengan inflamasi.

4.5 Mekanisme Bioaktivitas

Mekanisme bioaktivitas merupakan proses kompleks yang menjelaskan bagaimana senyawa bioaktif dalam bahan pangan memberikan efek fisiologis pada tubuh manusia (Bao *et al.*, 2019). Dalam konteks labu kuning, berbagai komponen bioaktif seperti β -karoten, senyawa fenolik, dan serat pangan bekerja melalui jalur biokimia dan molekuler yang saling berinteraksi. Pemahaman mengenai mekanisme ini sangat penting untuk menjelaskan dasar ilmiah manfaat kesehatan dari konsumsi labu kuning serta mendukung pengembangan pangan fungsional berbasis bukti.

Salah satu mekanisme utama bioaktivitas labu kuning adalah melalui aktivitas antioksidan. Senyawa seperti β -karoten dan fenolik mampu menetralkan radikal bebas dengan cara mendonorkan elektron atau atom hidrogen, sehingga mencegah kerusakan oksidatif pada sel (Mukherjee *et al.*, 2025). Radikal bebas yang berlebihan dapat merusak lipid, protein, dan DNA, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap perkembangan penyakit degeneratif. Dengan demikian, aktivitas antioksidan dari senyawa dalam labu kuning berperan sebagai lini pertahanan pertama dalam melindungi tubuh dari stres oksidatif.

Selain itu, mekanisme bioaktivitas juga melibatkan modulasi jalur sinyal seluler yang berkaitan dengan inflamasi. Senyawa bioaktif dalam labu kuning dapat menghambat aktivasi faktor transkripsi

seperti NF- κ B yang berperan dalam regulasi gen inflamasi. Dengan menekan ekspresi sitokin proinflamasi seperti TNF- α dan interleukin, senyawa tersebut membantu mengurangi respon inflamasi dalam tubuh. Mekanisme ini menunjukkan bahwa bioaktivitas labu kuning tidak hanya bersifat protektif, tetapi juga memiliki peran regulatif dalam menjaga keseimbangan fisiologis.

Dalam kaitannya dengan metabolisme glukosa, bioaktivitas labu kuning juga melibatkan pengaruh terhadap sensitivitas insulin dan penyerapan glukosa. Serat pangan dalam labu kuning memperlambat penyerapan glukosa di usus, sementara senyawa bioaktif tertentu dapat meningkatkan respons jaringan terhadap insulin. Selain itu, beberapa komponen dalam labu kuning diduga mampu memodulasi aktivitas enzim yang terlibat dalam metabolisme karbohidrat, seperti α -amilase dan α -glukosidase. Mekanisme ini berkontribusi dalam pengendalian kadar glukosa darah dan mendukung aktivitas antidiabetes.

Mekanisme lain yang tidak kalah penting adalah interaksi antara senyawa bioaktif dan mikrobiota usus. Serat pangan dalam labu kuning berfungsi sebagai prebiotik yang dapat difermentasi oleh bakteri usus, menghasilkan asam lemak rantai pendek seperti butirat. Senyawa ini memiliki efek positif terhadap kesehatan usus, termasuk meningkatkan integritas mukosa usus dan mengurangi inflamasi. Selain itu, mikrobiota usus juga dapat memodifikasi senyawa fenolik menjadi bentuk yang lebih mudah diserap, sehingga meningkatkan bioavailabilitas dan efektivitasnya.

Bioaktivitas labu kuning juga dipengaruhi oleh faktor bioavailabilitas, yaitu sejauh mana senyawa aktif dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Struktur kimia senyawa, interaksi dengan matriks pangan, serta kondisi fisiologis individu dapat memengaruhi tingkat absorpsi dan metabolisme senyawa bioaktif. Misalnya, β -karoten yang bersifat lipofilik memerlukan keberadaan lemak untuk meningkatkan absorpsinya. Oleh karena itu, formulasi produk pangan perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat meningkatkan bioavailabilitas senyawa aktif.

Dengan demikian, mekanisme bioaktivitas labu kuning melibatkan berbagai jalur yang saling terkait, mulai dari aktivitas antioksidan, modulasi inflamasi, pengaturan metabolisme, hingga interaksi dengan mikrobiota usus. Kompleksitas mekanisme ini menunjukkan bahwa manfaat kesehatan dari labu kuning tidak berasal dari satu komponen saja, tetapi merupakan hasil sinergi berbagai senyawa bioaktif. Pemahaman yang mendalam mengenai mekanisme bioaktivitas ini menjadi dasar penting dalam pengembangan pangan fungsional yang efektif dan berbasis ilmiah.

BAB 5.

KONSEP DAN PRINSIP PANGAN FUNGSIONAL

5.1 Definisi dan Klasifikasi

Pangan fungsional merupakan konsep yang berkembang seiring meningkatnya kesadaran akan peran pangan dalam menjaga kesehatan dan mencegah penyakit (Keservani & Ahire, 2023). Secara umum, pangan fungsional didefinisikan sebagai pangan yang selain memenuhi kebutuhan nutrisi dasar juga memberikan manfaat fisiologis tambahan bagi tubuh. Manfaat tersebut dapat berupa peningkatan fungsi biologis tertentu, perlindungan terhadap penyakit, atau perbaikan kondisi kesehatan secara keseluruhan. Dalam konteks ini, pangan tidak hanya dipandang sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga sebagai komponen aktif yang berkontribusi terhadap kualitas hidup manusia.

Definisi pangan fungsional dapat bervariasi tergantung pada pendekatan ilmiah dan regulasi di masing-masing negara. Namun, secara prinsip, pangan fungsional harus memenuhi beberapa kriteria utama, yaitu aman untuk dikonsumsi, memiliki kandungan komponen bioaktif yang teridentifikasi, serta didukung oleh bukti ilmiah yang menunjukkan manfaat kesehatannya (Emerald & Rosenberg, 2024). Selain itu, pangan fungsional dapat berasal dari bahan alami maupun hasil modifikasi melalui proses teknologi pangan, selama tetap mempertahankan atau meningkatkan nilai fungsionalnya.

Dalam pengembangannya, pangan fungsional dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber dan jenis komponen aktif yang dikandungnya. Salah satu klasifikasi yang umum digunakan adalah berdasarkan komponen bioaktif, seperti pangan yang kaya serat pangan, antioksidan, probiotik, prebiotik, atau senyawa fitokimia. Misalnya, pangan yang mengandung serat tinggi dapat dikategorikan sebagai pangan fungsional untuk kesehatan pencernaan, sedangkan

pangan yang kaya antioksidan berperan dalam melindungi tubuh dari stres oksidatif.

Selain berdasarkan komponen, pangan fungsional juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat pengolahan. Pangan fungsional alami merupakan pangan yang secara alami mengandung senyawa bioaktif tanpa melalui modifikasi, seperti buah-buahan dan sayuran, termasuk labu kuning. Sementara itu, pangan fungsional yang difortifikasi adalah pangan yang ditambahkan komponen tertentu untuk meningkatkan nilai fungsionalnya, seperti penambahan vitamin, mineral, atau serat. Selain itu, terdapat pula pangan yang mengalami modifikasi, di mana struktur atau komposisinya diubah untuk meningkatkan manfaat kesehatan, misalnya melalui fermentasi atau modifikasi pati.

Klasifikasi lain dapat didasarkan pada tujuan kesehatan atau fungsi spesifik yang ingin dicapai. Pangan fungsional dapat dirancang untuk mendukung kesehatan jantung, mengontrol kadar glukosa darah, meningkatkan sistem imun, atau menjaga kesehatan saluran pencernaan. Dalam hal ini, formulasi produk pangan disesuaikan dengan target fungsi tertentu, sehingga memberikan manfaat yang lebih spesifik bagi konsumen. Pendekatan ini banyak digunakan dalam pengembangan produk pangan modern yang berorientasi pada kebutuhan kesehatan tertentu.

Dalam konteks industri pangan, klasifikasi pangan fungsional juga berkaitan dengan klaim kesehatan yang dapat diberikan pada produk. Klaim tersebut harus didukung oleh bukti ilmiah yang kuat dan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Klaim dapat berupa klaim fungsi, seperti “mendukung kesehatan pencernaan”, atau klaim pengurangan risiko penyakit. Oleh karena itu, pemahaman mengenai klasifikasi pangan fungsional sangat penting dalam pengembangan produk yang tidak hanya inovatif, tetapi juga sesuai dengan standar keamanan dan regulasi.

Dengan demikian, definisi dan klasifikasi pangan fungsional memberikan kerangka dasar dalam memahami konsep dan

pengembangan produk berbasis kesehatan. Klasifikasi yang jelas memungkinkan identifikasi komponen aktif, mekanisme kerja, serta tujuan penggunaan pangan fungsional secara lebih sistematis. Dalam konteks buku ini, pemahaman mengenai definisi dan klasifikasi menjadi landasan penting untuk mengkaji peran labu kuning sebagai bahan pangan fungsional yang memiliki potensi besar dalam mendukung kesehatan masyarakat.

5.2 Komponen Fungsional dalam Pangan

Komponen fungsional dalam pangan merupakan senyawa atau kelompok senyawa yang memberikan efek fisiologis positif bagi tubuh di luar fungsi nutrisi dasar (Abuajah *et al.*, 2015). Komponen ini dapat berasal secara alami dari bahan pangan atau ditambahkan melalui proses fortifikasi dan modifikasi. Dalam konteks pangan fungsional, komponen fungsional menjadi elemen utama yang menentukan nilai tambah suatu produk, karena berperan langsung dalam meningkatkan kesehatan, mencegah penyakit, dan mendukung fungsi biologis tertentu.

Salah satu komponen fungsional yang paling umum adalah serat pangan, yang terdiri atas serat larut dan tidak larut. Serat larut berperan dalam menurunkan kadar kolesterol dan mengontrol kadar glukosa darah melalui pembentukan gel dalam saluran pencernaan. Sementara itu, serat tidak larut membantu meningkatkan massa feses dan memperlancar pergerakan usus, sehingga mencegah konstipasi. Dalam bahan pangan seperti labu kuning, keberadaan serat memberikan kontribusi penting terhadap kesehatan pencernaan dan metabolisme.

Komponen fungsional lainnya adalah senyawa antioksidan, seperti karotenoid, vitamin C, vitamin E, dan senyawa fenolik. Antioksidan berperan dalam menetralkan radikal bebas yang dapat merusak sel dan memicu penyakit degeneratif. Karotenoid, khususnya β -karoten, tidak hanya berfungsi sebagai antioksidan tetapi juga sebagai provitamin A yang penting untuk kesehatan mata dan sistem

imun. Senyawa fenolik, seperti flavonoid, juga memiliki aktivitas biologis yang luas, termasuk antiinflamasi dan antimikroba.

Selain itu, komponen fungsional juga mencakup prebiotik dan probiotik yang berperan dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus. Prebiotik merupakan senyawa yang tidak dicerna, seperti oligosakarida dan serat tertentu, yang dapat merangsang pertumbuhan bakteri baik di usus (Rajamma *et al.*, 2022). Probiotik adalah mikroorganisme hidup yang memberikan manfaat kesehatan jika dikonsumsi dalam jumlah yang cukup (Goyal *et al.*, 2016). Kombinasi prebiotik dan probiotik dapat meningkatkan kesehatan saluran pencernaan serta mendukung sistem imun tubuh.

Komponen bioaktif lain yang penting adalah asam lemak tak jenuh, khususnya asam lemak omega-3 dan omega-6, yang berperan dalam kesehatan jantung dan fungsi otak (Davidson *et al.*, 2011). Meskipun labu kuning tidak mengandung asam lemak dalam jumlah besar, kombinasi dengan bahan lain dalam formulasi produk dapat menghasilkan pangan fungsional yang lebih lengkap. Selain itu, peptida bioaktif yang dihasilkan dari hidrolisis protein juga memiliki potensi dalam menurunkan tekanan darah dan memberikan efek antihipertensi.

Peran komponen fungsional dalam pangan tidak hanya bergantung pada keberadaannya, tetapi juga pada bioavailabilitasnya, yaitu sejauh mana senyawa tersebut dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Faktor seperti struktur kimia, interaksi dengan matriks pangan, serta kondisi pengolahan dan penyimpanan dapat memengaruhi bioavailabilitas komponen tersebut. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan tidak hanya kandungan komponen aktif, tetapi juga efektivitasnya dalam tubuh.

Dengan demikian, komponen fungsional dalam pangan mencakup berbagai senyawa yang bekerja secara sinergis dalam memberikan manfaat kesehatan. Keberadaan komponen seperti serat, antioksidan, prebiotik, dan senyawa bioaktif lainnya menjadikan

pangan tidak hanya sebagai sumber nutrisi, tetapi juga sebagai alat untuk meningkatkan kualitas hidup. Dalam pengembangan produk berbasis labu kuning, pemanfaatan komponen fungsional secara optimal menjadi kunci dalam menghasilkan pangan fungsional yang efektif, aman, dan memiliki nilai tambah yang tinggi.

5.3 Hubungan Pangan dan Kesehatan

Hubungan antara pangan dan kesehatan merupakan konsep fundamental dalam ilmu gizi dan pangan yang terus berkembang seiring dengan kemajuan penelitian ilmiah. Pangan tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tubuh serta mencegah berbagai penyakit. Pola konsumsi pangan yang tepat dapat meningkatkan kualitas hidup, sedangkan pola konsumsi yang tidak seimbang dapat meningkatkan risiko penyakit kronis (Didingen *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan antara pangan dan kesehatan menjadi dasar dalam pengembangan strategi diet yang sehat dan berkelanjutan.

Kesehatan manusia sangat dipengaruhi oleh jenis dan kualitas pangan yang dikonsumsi. Pangan yang kaya akan zat gizi esensial, seperti protein, vitamin, mineral, dan serat, dapat mendukung fungsi tubuh secara optimal. Selain itu, keberadaan senyawa bioaktif dalam pangan, seperti antioksidan dan fitokimia, memberikan manfaat tambahan dalam melindungi tubuh dari kerusakan sel. Sebaliknya, konsumsi pangan tinggi lemak jenuh, gula, dan garam secara berlebihan dapat meningkatkan risiko penyakit tidak menular, seperti hipertensi, diabetes, dan penyakit jantung.

Dalam konteks pangan fungsional, hubungan antara pangan dan kesehatan menjadi lebih spesifik karena adanya komponen yang secara langsung memberikan efek fisiologis tertentu. Pangan fungsional dirancang untuk tidak hanya memenuhi kebutuhan nutrisi dasar, tetapi juga untuk mendukung fungsi kesehatan tertentu, seperti meningkatkan sistem imun, mengontrol kadar glukosa darah, atau

menjaga kesehatan saluran pencernaan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa pangan dapat digunakan sebagai alat preventif dalam menjaga kesehatan masyarakat.

Salah satu aspek penting dalam hubungan pangan dan kesehatan adalah peran mikrobiota usus. Komposisi mikrobiota usus sangat dipengaruhi oleh pola konsumsi pangan, terutama asupan serat dan prebiotik. Mikrobiota yang seimbang dapat meningkatkan fungsi sistem imun, membantu pencernaan, serta menghasilkan senyawa yang bermanfaat bagi tubuh. Sebaliknya, ketidakseimbangan mikrobiota dapat berkontribusi terhadap berbagai gangguan kesehatan, termasuk inflamasi dan penyakit metabolik. Oleh karena itu, konsumsi pangan yang mendukung kesehatan mikrobiota menjadi penting dalam menjaga kesehatan secara keseluruhan.

Hubungan antara pangan dan kesehatan juga dipengaruhi oleh faktor bioavailabilitas nutrisi, yaitu sejauh mana zat gizi dalam pangan dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Tidak semua zat gizi yang terkandung dalam pangan dapat digunakan secara optimal, karena dipengaruhi oleh faktor seperti bentuk kimia, interaksi dengan komponen lain, serta kondisi fisiologis individu. Oleh karena itu, pengolahan dan formulasi pangan yang tepat sangat penting untuk meningkatkan bioavailabilitas nutrisi dan efektivitasnya dalam tubuh.

Selain aspek biologis, hubungan antara pangan dan kesehatan juga dipengaruhi oleh faktor sosial dan budaya. Pola konsumsi pangan sering kali dipengaruhi oleh kebiasaan, tradisi, dan preferensi masyarakat. Dalam hal ini, pemanfaatan pangan lokal yang sesuai dengan budaya setempat dapat menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan kualitas diet. Pangan lokal seperti labu kuning memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bagian dari pola makan sehat yang berkelanjutan dan mudah diterima oleh masyarakat.

Dengan demikian, hubungan antara pangan dan kesehatan bersifat kompleks dan multidimensional, melibatkan interaksi antara komponen nutrisi, senyawa bioaktif, mikrobiota usus, serta faktor sosial dan budaya. Pemahaman yang komprehensif mengenai

hubungan ini sangat penting dalam pengembangan pangan fungsional yang efektif dan berbasis ilmiah. Dalam konteks buku ini, labu kuning diposisikan sebagai salah satu bahan pangan yang memiliki potensi besar dalam mendukung kesehatan melalui berbagai mekanisme yang telah dibahas secara terintegrasi.

5.4 Tren Global Pangan Fungsional

Tren global pangan fungsional menunjukkan pertumbuhan yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir, didorong oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya kesehatan dan pencegahan penyakit melalui pola konsumsi pangan (Mittal *et al.*, 2024). Konsumen modern tidak lagi hanya mencari produk yang mengenyangkan, tetapi juga yang memberikan manfaat kesehatan spesifik. Pergeseran ini mendorong industri pangan untuk mengembangkan produk yang tidak hanya lezat dan praktis, tetapi juga memiliki nilai fungsional yang tinggi, seperti kemampuan meningkatkan sistem imun, menjaga kesehatan jantung, dan mengontrol metabolisme.

Salah satu tren utama dalam pangan fungsional adalah meningkatnya permintaan terhadap produk berbasis bahan alami dan *clean label* (Galanakis, 2022). Konsumen cenderung menghindari bahan tambahan sintetis dan lebih memilih produk yang menggunakan bahan alami dengan proses minimal. Hal ini mendorong pemanfaatan bahan pangan lokal yang kaya senyawa bioaktif, seperti buah, sayuran, dan sereal tradisional. Labu kuning sebagai bahan alami dengan kandungan karotenoid dan serat yang tinggi memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan pasar ini.

Tren lain yang berkembang adalah fokus pada kesehatan saluran pencernaan atau *gut health* (Guimarães *et al.*, 2020). Penelitian menunjukkan bahwa keseimbangan mikrobiota usus memiliki peran penting dalam kesehatan secara keseluruhan, termasuk sistem imun dan metabolisme. Oleh karena itu, produk pangan yang mengandung prebiotik, probiotik, dan serat pangan semakin diminati. Pangan

berbasis labu kuning yang kaya serat dapat berkontribusi dalam mendukung kesehatan usus dan menjadi bagian dari tren ini.

Selain itu, terdapat peningkatan minat terhadap pangan yang mendukung kesehatan metabolik, seperti produk dengan indeks glikemik rendah dan kandungan gula yang terkontrol. Hal ini sejalan dengan meningkatnya prevalensi diabetes dan obesitas di berbagai negara. Produk pangan fungsional yang dirancang untuk mengontrol kadar glukosa darah dan meningkatkan sensitivitas insulin menjadi semakin relevan. Labu kuning, dengan kandungan serat dan potensi pengaruh terhadap pencernaan pati, dapat dimanfaatkan dalam pengembangan produk dengan karakteristik tersebut.

Tren global juga menunjukkan peningkatan permintaan terhadap produk berbasis *plant-based* atau nabati (Prakash *et al.*, 2023). Konsumen semakin sadar akan dampak lingkungan dan kesehatan dari konsumsi produk hewani, sehingga beralih ke alternatif berbasis tanaman. Pangan berbasis tanaman tidak hanya dianggap lebih ramah lingkungan, tetapi juga lebih sehat karena umumnya rendah lemak jenuh dan kaya serat serta senyawa bioaktif. Dalam hal ini, labu kuning dapat menjadi salah satu bahan utama dalam pengembangan produk pangan nabati yang inovatif.

Kemajuan teknologi pangan juga turut mendorong perkembangan pangan fungsional, terutama dalam hal peningkatan stabilitas dan bioavailabilitas komponen aktif. Teknologi seperti enkapsulasi, fermentasi, dan ekstrusi digunakan untuk melindungi senyawa bioaktif serta meningkatkan efektivitasnya dalam tubuh. Selain itu, pendekatan berbasis *personalized nutrition* mulai berkembang, di mana produk pangan dirancang sesuai dengan kebutuhan individu berdasarkan kondisi kesehatan dan profil genetik (Prakash & Kumari, 2025).

Dengan demikian, tren global pangan fungsional menunjukkan arah yang jelas menuju produk yang lebih sehat, alami, dan berkelanjutan. Integrasi antara kebutuhan konsumen, inovasi teknologi, dan pemanfaatan bahan lokal menjadi kunci dalam

pengembangan produk yang kompetitif di pasar global. Labu kuning sebagai bahan pangan lokal dengan kandungan bioaktif yang tinggi memiliki peluang besar untuk dikembangkan sesuai dengan tren ini, sehingga dapat berkontribusi dalam meningkatkan kesehatan masyarakat sekaligus memperkuat daya saing industri pangan berbasis lokal.

5.5 Regulasi dan Klaim

Regulasi dan klaim kesehatan merupakan aspek krusial dalam pengembangan dan pemasaran pangan fungsional, karena berkaitan langsung dengan keamanan, kepercayaan konsumen, dan legitimasi ilmiah suatu produk. Pangan fungsional tidak hanya dituntut memiliki manfaat kesehatan, tetapi juga harus mampu membuktikan klaim tersebut melalui data ilmiah yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, regulasi yang mengatur pangan fungsional bertujuan untuk melindungi konsumen dari klaim yang menyesatkan sekaligus mendorong inovasi berbasis bukti dalam industri pangan.

Secara umum, klaim pada pangan fungsional dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, antara lain klaim gizi (*nutrition claims*), klaim fungsi (*function claims*), dan klaim pengurangan risiko penyakit (*disease risk reduction claims*) (Verhagen & van Loveren, 2016). Klaim gizi berkaitan dengan kandungan zat gizi tertentu dalam produk, seperti “tinggi serat” atau “sumber vitamin A”. Klaim fungsi menjelaskan peran komponen dalam mendukung fungsi tubuh, misalnya “mendukung kesehatan pencernaan”. Sementara itu, klaim pengurangan risiko penyakit menyatakan hubungan antara konsumsi pangan dengan penurunan risiko penyakit tertentu, yang memerlukan bukti ilmiah yang lebih kuat dan sering kali diatur lebih ketat.

Regulasi pangan fungsional berbeda-beda di setiap negara, tergantung pada sistem hukum dan kebijakan yang berlaku. Di Indonesia, pengawasan pangan fungsional dilakukan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), yang menetapkan persyaratan

terkait keamanan, mutu, serta klaim yang dapat dicantumkan pada label produk. BPOM mengharuskan setiap klaim kesehatan didukung oleh data ilmiah yang memadai, baik dari hasil penelitian *in vitro*, *in vivo*, maupun uji klinis. Selain itu, pelabelan produk harus jelas, tidak menyesatkan, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Di tingkat internasional, organisasi seperti Codex Alimentarius Commission berperan dalam menyusun pedoman global terkait standar pangan, termasuk klaim gizi dan kesehatan. Pedoman ini menjadi acuan bagi banyak negara dalam menyusun regulasi nasional. Selain itu, lembaga seperti European Food Safety Authority dan Food and Drug Administration (FDA) memiliki sistem evaluasi yang ketat terhadap klaim kesehatan, di mana setiap klaim harus melalui proses penilaian ilmiah sebelum diizinkan untuk digunakan dalam pemasaran produk.

Salah satu tantangan dalam regulasi pangan fungsional adalah pembuktian hubungan sebab-akibat antara konsumsi pangan dan manfaat kesehatan yang diklaim. Hal ini memerlukan penelitian yang komprehensif dan sering kali melibatkan uji klinis pada manusia, yang membutuhkan waktu dan biaya yang besar. Selain itu, variabilitas respon individu terhadap komponen pangan juga menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil penelitian. Oleh karena itu, pengembangan klaim kesehatan harus dilakukan secara hati-hati dan berbasis bukti ilmiah yang kuat.

Dalam konteks industri, kepatuhan terhadap regulasi tidak hanya penting untuk memenuhi persyaratan hukum, tetapi juga untuk membangun kepercayaan konsumen. Produk yang memiliki klaim kesehatan yang jelas dan didukung oleh bukti ilmiah cenderung lebih dipercaya dan memiliki daya saing yang lebih tinggi di pasar. Selain itu, transparansi dalam pelabelan dan komunikasi informasi kepada konsumen menjadi faktor penting dalam meningkatkan kredibilitas produk pangan fungsional.

Dengan demikian, regulasi dan klaim merupakan elemen penting dalam pengembangan pangan fungsional yang bertanggung

jawab dan berkelanjutan. Integrasi antara penelitian ilmiah, kepatuhan terhadap regulasi, serta komunikasi yang efektif kepada konsumen menjadi kunci dalam menghasilkan produk yang tidak hanya inovatif, tetapi juga aman dan terpercaya. Dalam pengembangan produk berbasis labu kuning, pemahaman terhadap regulasi dan klaim kesehatan akan membantu dalam merancang produk yang sesuai dengan standar serta memiliki nilai tambah yang diakui secara ilmiah dan legal.

BAB 6.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN LABU KUNING

6.1 Pengolahan menjadi Tepung dan Puree

Pengolahan labu kuning menjadi bentuk antara seperti tepung dan puree merupakan langkah strategis untuk meningkatkan nilai guna, memperpanjang umur simpan, serta memperluas aplikasi dalam berbagai produk pangan. Transformasi dari bahan segar menjadi tepung atau puree memungkinkan pemanfaatan yang lebih fleksibel dalam formulasi pangan, baik pada skala rumah tangga maupun industri. Selain itu, pengolahan ini juga berperan dalam menjaga ketersediaan bahan sepanjang tahun, mengingat sifat labu kuning segar yang mudah rusak akibat kandungan air yang tinggi.

Proses pembuatan puree labu kuning umumnya diawali dengan tahap sortasi, pencucian, pengupasan, dan pemotongan bahan. Setelah itu, potongan labu kuning mengalami proses pemanasan, seperti pengukusan atau perebusan, untuk melunakkan jaringan dan mempermudah penghancuran. Pemanasan juga berfungsi untuk menonaktifkan enzim yang dapat menyebabkan perubahan warna dan degradasi nutrisi. Selanjutnya, bahan dihancurkan menggunakan blender atau alat penghancur hingga menghasilkan tekstur halus yang homogen. Puree yang dihasilkan dapat langsung digunakan atau disimpan dalam kondisi dingin untuk mempertahankan kualitasnya.

Sementara itu, pengolahan menjadi tepung melibatkan proses yang lebih kompleks, terutama dalam pengurangan kadar air hingga tingkat yang aman untuk penyimpanan jangka panjang. Setelah tahap awal seperti pencucian dan pemotongan, labu kuning dikeringkan menggunakan metode seperti pengeringan oven, pengeringan matahari, atau teknologi pengeringan modern seperti drum dryer. Proses pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air hingga di bawah batas kritis, sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan bahan. Setelah

kering, bahan digiling dan diayak untuk memperoleh tepung dengan ukuran partikel yang seragam.

Karakteristik puree dan tepung labu kuning memiliki perbedaan yang signifikan dalam hal sifat fisik dan fungsional. Puree memiliki kadar air tinggi dan tekstur lembut, sehingga cocok digunakan dalam produk yang memerlukan kelembutan dan kelembapan, seperti bubur instan, saus, dan produk bakery. Sebaliknya, tepung labu kuning memiliki kadar air rendah dan bentuk yang lebih stabil, sehingga dapat digunakan sebagai bahan substitusi dalam produk berbasis tepung, seperti mie, roti, dan cookies. Perbedaan ini memberikan fleksibilitas dalam pemilihan bentuk bahan sesuai dengan kebutuhan produk.

Proses pengolahan juga memengaruhi kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif dalam labu kuning. Pemanasan pada tahap pembuatan puree dapat menyebabkan kehilangan sebagian vitamin yang sensitif terhadap panas, seperti vitamin C, namun juga dapat meningkatkan bioavailabilitas karotenoid dengan cara memecah struktur sel. Pada pengolahan tepung, proses pengeringan dapat menyebabkan degradasi nutrisi jika suhu terlalu tinggi atau waktu pengeringan terlalu lama. Oleh karena itu, pengendalian parameter proses menjadi penting untuk mempertahankan kualitas nutrisi.

Selain aspek nutrisi, pengolahan menjadi tepung dan puree juga memengaruhi sifat fungsional bahan, seperti daya serap air, viskositas, dan kemampuan membentuk gel. Tepung labu kuning umumnya memiliki kapasitas retensi air yang baik, sehingga dapat meningkatkan kelembutan dan stabilitas produk. Puree, dengan kandungan air yang tinggi, dapat memberikan tekstur yang lembut dan meningkatkan sifat sensoris produk. Pemahaman mengenai sifat fungsional ini penting dalam formulasi produk pangan yang optimal.

Dengan demikian, pengolahan labu kuning menjadi tepung dan puree merupakan langkah penting dalam pemanfaatan bahan secara optimal. Kedua bentuk ini memiliki keunggulan masing-masing dalam hal stabilitas, fleksibilitas penggunaan, dan kontribusi terhadap kualitas produk. Integrasi antara teknik pengolahan yang tepat dan

pemahaman sifat bahan akan mendukung pengembangan produk pangan fungsional berbasis labu kuning yang berkualitas tinggi, bernilai tambah, dan sesuai dengan kebutuhan konsumen modern.

6.2 Teknologi Pengeringan

Teknologi pengeringan merupakan tahapan kritis dalam pengolahan labu kuning untuk menghasilkan bahan yang stabil, aman, dan mudah diaplikasikan dalam berbagai produk pangan. Tujuan utama pengeringan adalah menurunkan kadar air hingga mencapai tingkat aktivitas air (a_w) yang rendah, sehingga pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan dapat dikurangi. Selain itu, pengeringan juga berperan dalam mempertahankan kualitas bahan, termasuk warna, aroma, dan kandungan nutrisi, jika dilakukan dengan kondisi yang tepat.

Metode pengeringan dapat dibedakan menjadi pengeringan alami dan pengeringan buatan. Pengeringan alami, seperti penjemuran di bawah sinar matahari, merupakan metode yang sederhana dan ekonomis, namun memiliki keterbatasan dalam hal kontrol proses dan higienitas. Variasi cuaca dan kontaminasi lingkungan dapat memengaruhi kualitas produk akhir. Oleh karena itu, dalam skala industri atau penelitian, metode pengeringan buatan lebih banyak digunakan karena memungkinkan pengendalian parameter proses secara lebih presisi.

Pengeringan buatan umumnya dilakukan menggunakan alat seperti *tray dryer* (oven pengering), *cabinet dryer*, atau *tunnel dryer*. Metode ini memungkinkan pengaturan suhu, waktu, dan aliran udara secara terkontrol, sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih konsisten. Suhu pengeringan yang digunakan harus dioptimalkan, karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif seperti β -karoten dan vitamin C, sementara suhu yang terlalu rendah dapat memperpanjang waktu pengeringan dan meningkatkan risiko kerusakan mikrobiologis.

Selain metode konvensional, teknologi pengeringan modern seperti spray drying, drum drying, dan freeze drying juga mulai banyak digunakan dalam pengolahan bahan pangan fungsional. Spray drying menghasilkan partikel berbentuk serbuk halus dengan kemampuan rehidrasi yang baik, sehingga cocok untuk produk instan. Drum drying efektif untuk mengeringkan bahan dalam bentuk slurry atau puree dengan waktu yang relatif singkat. Sementara itu, freeze drying atau pengeringan beku mampu mempertahankan struktur, warna, dan kandungan nutrisi dengan sangat baik, meskipun biaya operasionalnya relatif tinggi.

Proses pengeringan tidak hanya memengaruhi kadar air, tetapi juga memengaruhi sifat fisik dan kimia bahan. Perubahan struktur sel selama pengeringan dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaan senyawa bioaktif. Dalam beberapa kasus, pengeringan dapat meningkatkan bioavailabilitas karotenoid dengan memecah matriks sel, namun juga dapat menyebabkan kehilangan nutrisi jika tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, pemahaman mengenai kinetika pengeringan dan perubahan komponen selama proses sangat penting dalam optimasi teknologi.

Dari aspek sifat fungsional, pengeringan berpengaruh terhadap karakteristik tepung labu kuning yang dihasilkan, seperti daya serap air, kelarutan, dan kemampuan membentuk gel. Tepung yang dihasilkan dari proses pengeringan yang optimal akan memiliki sifat rehidrasi yang baik serta stabilitas yang tinggi dalam berbagai aplikasi pangan. Sebaliknya, pengeringan yang tidak tepat dapat menyebabkan perubahan warna, penurunan kualitas tekstur, serta berkurangnya nilai fungsional bahan.

Dengan demikian, teknologi pengeringan memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas akhir produk berbasis labu kuning. Pemilihan metode dan kondisi pengeringan yang tepat akan memastikan bahwa bahan yang dihasilkan memiliki stabilitas yang baik, kandungan nutrisi yang terjaga, serta sifat fungsional yang optimal. Integrasi antara teknologi pengeringan dan pemahaman

karakteristik bahan menjadi kunci dalam pengembangan produk pangan fungsional yang berkualitas tinggi dan berdaya saing di pasar.

6.3 Teknologi Ekstrusi

Teknologi ekstrusi merupakan salah satu metode pengolahan pangan yang banyak digunakan dalam industri untuk menghasilkan produk dengan bentuk, tekstur, dan sifat fungsional tertentu. Proses ekstrusi melibatkan kombinasi perlakuan mekanis, termal, dan tekanan tinggi dalam waktu singkat, sehingga mampu mengubah karakteristik bahan secara signifikan. Dalam pengolahan labu kuning, teknologi ini menjadi sangat relevan karena memungkinkan pemanfaatan bahan dalam bentuk tepung atau campuran dengan bahan lain untuk menghasilkan produk inovatif seperti mie, snack, dan beras analog.

Prinsip dasar ekstrusi adalah mendorong bahan melalui sebuah silinder (barrel) menggunakan sekrup (screw) yang berputar, sambil mengalami pemanasan dan tekanan (Ghosh, 2016). Selama proses ini, bahan mengalami gelatinisasi pati, denaturasi protein, serta perubahan struktur matriks pangan. Ketika bahan keluar dari cetakan (die), terjadi penurunan tekanan secara tiba-tiba yang menyebabkan ekspansi produk. Hasilnya adalah produk dengan tekstur yang khas, seperti renyah atau berpori, tergantung pada kondisi proses dan formulasi bahan.

Penggunaan labu kuning dalam proses ekstrusi memberikan kontribusi penting terhadap sifat nutrisi dan sensoris produk. Kandungan karotenoid, terutama β -karoten, dapat meningkatkan nilai gizi produk, sementara warna alami dari labu kuning memberikan daya tarik visual tanpa perlu tambahan pewarna sintetis. Selain itu, kandungan serat dalam labu kuning dapat memengaruhi struktur produk, seperti meningkatkan kekompakan atau memodifikasi tingkat ekspansi. Hal ini menjadikan labu kuning sebagai bahan yang potensial dalam formulasi produk ekstrusi berbasis pangan fungsional.

Parameter proses ekstrusi, seperti suhu, kecepatan sekrup, kadar air bahan, dan desain die, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik produk akhir. Suhu yang tinggi dapat meningkatkan gelatinisasi pati dan ekspansi produk, namun juga berisiko menyebabkan degradasi senyawa bioaktif jika tidak dikendalikan dengan baik. Kadar air bahan juga memengaruhi viskositas dan aliran bahan dalam barrel, yang pada akhirnya menentukan tekstur dan densitas produk. Oleh karena itu, optimasi parameter proses menjadi kunci dalam menghasilkan produk dengan kualitas yang diinginkan.

Teknologi ekstrusi juga memiliki keunggulan dalam efisiensi proses, karena mampu menggabungkan beberapa tahap pengolahan, seperti pencampuran, pemasakan, dan pembentukan, dalam satu sistem kontinu. Hal ini menjadikan ekstrusi sebagai metode yang ekonomis dan efisien untuk produksi skala besar. Selain itu, waktu proses yang singkat membantu mempertahankan sebagian kandungan nutrisi, dibandingkan dengan metode pengolahan konvensional yang memerlukan waktu pemanasan lebih lama.

Namun demikian, proses ekstrusi juga memiliki tantangan, terutama dalam mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas. Karotenoid dan vitamin tertentu dapat mengalami degradasi selama proses ekstrusi jika kondisi tidak dioptimalkan. Oleh karena itu, pendekatan teknologi seperti penggunaan suhu moderat, waktu tinggal yang singkat, serta formulasi bahan yang tepat perlu diterapkan untuk meminimalkan kehilangan nutrisi. Selain itu, penggunaan teknik fortifikasi atau enkapsulasi dapat menjadi solusi untuk meningkatkan stabilitas senyawa aktif.

Dengan demikian, teknologi ekstrusi merupakan metode yang sangat potensial dalam pengembangan produk pangan fungsional berbasis labu kuning. Kombinasi antara fleksibilitas formulasi, efisiensi proses, serta kemampuan menghasilkan produk dengan karakteristik yang beragam menjadikan ekstrusi sebagai teknologi unggulan dalam industri pangan modern. Pemahaman yang mendalam mengenai interaksi antara bahan dan parameter proses akan

memungkinkan optimalisasi kualitas produk, baik dari aspek nutrisi, tekstur, maupun penerimaan konsumen.

6.4 Pengaruh Proses terhadap Nutrisi

Proses pengolahan pangan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kandungan dan kualitas nutrisi suatu bahan, termasuk labu kuning. Pengolahan diperlukan untuk meningkatkan keamanan, daya simpan, serta kemudahan konsumsi, namun di sisi lain dapat menyebabkan perubahan pada komponen gizi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh proses terhadap nutrisi menjadi sangat penting dalam pengembangan pangan fungsional, agar manfaat kesehatan dari bahan tetap dapat dipertahankan secara optimal.

Pemanasan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi stabilitas nutrisi. Vitamin yang larut dalam air, seperti vitamin C dan beberapa vitamin B, sangat sensitif terhadap panas dan dapat mengalami degradasi selama proses pemasakan atau pengeringan. Sebaliknya, beberapa senyawa seperti β -karoten relatif lebih stabil terhadap panas, meskipun tetap dapat mengalami penurunan jika terpapar suhu tinggi dalam waktu lama (Demiray & Tulek, 2017). Oleh karena itu, pengendalian suhu dan waktu proses menjadi kunci dalam mempertahankan kandungan vitamin dalam produk olahan.

Selain pemanasan, proses pengeringan juga memberikan dampak terhadap kandungan nutrisi. Pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air dan memperpanjang umur simpan, namun dapat menyebabkan kehilangan nutrisi akibat oksidasi dan degradasi termal. Meskipun demikian, pengeringan yang dilakukan dengan metode dan kondisi yang tepat dapat mempertahankan sebagian besar komponen gizi, bahkan dalam beberapa kasus meningkatkan konsentrasi relatif nutrisi karena pengurangan kadar air. Oleh karena itu, pemilihan metode pengeringan yang sesuai sangat penting dalam menjaga kualitas nutrisi.

Proses mekanis seperti penggilingan dan ekstrusi juga memengaruhi struktur dan ketersediaan nutrisi. Penggilingan dapat meningkatkan luas permukaan bahan, sehingga mempermudah proses pencernaan dan penyerapan nutrisi. Sementara itu, ekstrusi dapat menyebabkan gelatinisasi pati dan denaturasi protein, yang dapat meningkatkan pencernaan dan bioavailabilitas nutrisi tertentu. Namun, kondisi ekstrusi yang ekstrem juga dapat menyebabkan degradasi senyawa sensitif, sehingga perlu dilakukan optimasi parameter proses.

Interaksi antar komponen dalam matriks pangan selama proses pengolahan juga berperan dalam menentukan stabilitas nutrisi. Misalnya, keberadaan lemak dapat meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas karotenoid, sementara keberadaan logam tertentu dapat mempercepat reaksi oksidasi yang merusak vitamin. Selain itu, perubahan struktur sel akibat proses pengolahan dapat memengaruhi pelepasan dan ketersediaan senyawa bioaktif dalam sistem pencernaan.

Faktor lain yang memengaruhi perubahan nutrisi adalah kondisi lingkungan selama proses dan penyimpanan, seperti paparan oksigen, cahaya, dan kelembapan. Oksigen dapat menyebabkan oksidasi senyawa sensitif, sementara cahaya dapat mempercepat degradasi pigmen seperti karotenoid. Oleh karena itu, penggunaan kemasan yang tepat dan pengendalian kondisi penyimpanan menjadi penting dalam menjaga kualitas nutrisi setelah proses pengolahan selesai.

Dengan demikian, proses pengolahan memiliki pengaruh yang kompleks terhadap nutrisi, yang dapat bersifat positif maupun negatif tergantung pada kondisi yang diterapkan. Pengolahan yang tepat tidak hanya mampu mempertahankan kandungan nutrisi, tetapi juga dapat meningkatkan ketersediaan dan manfaatnya bagi tubuh. Dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning, pendekatan yang mengintegrasikan teknologi pengolahan dan pemahaman nutrisi menjadi kunci dalam menghasilkan produk yang berkualitas, aman, dan memberikan manfaat kesehatan yang optimal.

6.5 Stabilitas dan Penyimpanan

Stabilitas dan penyimpanan merupakan aspek krusial dalam menjaga mutu bahan dan produk berbasis labu kuning, baik dalam bentuk segar, puree, maupun tepung. Stabilitas merujuk pada kemampuan komponen nutrisi, senyawa bioaktif, serta sifat fisik tetap terjaga selama periode waktu tertentu. Sementara itu, penyimpanan mencakup kondisi dan metode yang digunakan untuk mempertahankan kualitas tersebut. Dalam konteks pangan fungsional, menjaga stabilitas menjadi sangat penting karena berkaitan langsung dengan efektivitas manfaat kesehatan yang ditawarkan produk.

Pada labu kuning segar, kadar air yang tinggi menjadi faktor utama yang memengaruhi stabilitas. Kandungan air yang mencapai lebih dari 85% menjadikan bahan ini rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzimatis yang dapat mempercepat kerusakan. Oleh karena itu, penyimpanan labu kuning segar umumnya dilakukan pada suhu rendah untuk memperlambat laju respirasi dan aktivitas mikroba. Selain itu, penanganan pascapanen yang baik, seperti sortasi dan pengemasan yang tepat, juga berperan dalam mempertahankan kualitas bahan.

Dalam bentuk olahan seperti puree, stabilitas dipengaruhi oleh kombinasi faktor kadar air, pH, dan kondisi penyimpanan. Puree labu kuning memiliki tekstur lembut dan kadar air tinggi, sehingga memerlukan penyimpanan pada suhu dingin atau pembekuan untuk mencegah kerusakan. Selain itu, perlakuan seperti pasteurisasi dapat diterapkan untuk menonaktifkan mikroorganisme dan enzim yang merusak. Namun, proses ini harus dikendalikan dengan baik agar tidak menyebabkan degradasi nutrisi, terutama vitamin yang sensitif terhadap panas.

Untuk produk kering seperti tepung labu kuning, stabilitas umumnya lebih tinggi karena kadar air yang rendah (Slamet et al., 2019). Penurunan kadar air hingga di bawah batas aktivitas air kritis dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan (Slamet et al., 2020). Namun, produk

kering tetap rentan terhadap perubahan kualitas akibat paparan oksigen, cahaya, dan kelembapan. Oleh karena itu, penggunaan kemasan yang kedap udara dan cahaya sangat dianjurkan untuk menjaga stabilitas nutrisi dan warna produk.

Senyawa bioaktif dalam labu kuning, seperti β -karoten dan fenolik, juga dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan (Jaswir *et al.*, 2014). Paparan oksigen dan cahaya dapat menyebabkan oksidasi yang menurunkan kandungan dan aktivitas senyawa tersebut. Selain itu, suhu penyimpanan yang tinggi dapat mempercepat reaksi degradasi. Oleh karena itu, penyimpanan pada kondisi gelap, suhu rendah, dan atmosfer terkendali menjadi strategi penting dalam mempertahankan kandungan bioaktif dalam produk.

Stabilitas produk juga dipengaruhi oleh interaksi antar komponen dalam matriks pangan. Misalnya, keberadaan lemak dapat membantu melindungi karotenoid dari oksidasi, sementara keberadaan air dapat mempercepat reaksi kimia tertentu. Selain itu, perubahan fisik seperti penggumpalan pada tepung akibat penyerapan kelembapan juga dapat memengaruhi kualitas produk. Oleh karena itu, pengendalian kondisi penyimpanan harus mempertimbangkan sifat fisik dan kimia bahan secara menyeluruh.

Dengan demikian, stabilitas dan penyimpanan merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas dan nilai fungsional produk berbasis labu kuning. Pendekatan yang tepat dalam pengemasan, pengendalian suhu, dan kelembapan akan memastikan bahwa produk tetap aman, bernilai gizi tinggi, dan memiliki umur simpan yang panjang. Integrasi antara teknologi pengolahan dan manajemen penyimpanan menjadi kunci dalam menghasilkan produk pangan fungsional yang berkualitas dan berdaya saing di pasar.

BAB 7.

SIFAT FUNGSIONAL DAN STRUKTUR MIKRO

7.1 Sifat Fungsional

Sifat fungsional merupakan karakteristik penting dalam bahan pangan yang menentukan perilaku bahan selama proses pengolahan dan aplikasinya dalam produk akhir. Pada labu kuning, sifat fungsional sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia, terutama kandungan pati, serat, dan komponen bioaktif. Parameter yang umum digunakan untuk mengevaluasi sifat fungsional bahan berbasis pati meliputi *Water Absorption Index* (WAI), *Water Solubility Index* (WSI), dan *swelling power* (Salgado-Ordosgoitia *et al.*, 2018). Ketiga parameter ini memberikan gambaran mengenai kemampuan bahan dalam berinteraksi dengan air, yang sangat penting dalam menentukan tekstur, viskositas, dan stabilitas produk pangan.

Nilai WAI menggambarkan kemampuan bahan untuk menyerap dan menahan air dalam kondisi tertentu. Nilai WAI yang tinggi menunjukkan bahwa bahan memiliki kapasitas retensi air yang baik, yang biasanya berkaitan dengan kandungan pati dan serat yang tinggi. Pada tepung labu kuning, nilai WAI dipengaruhi oleh struktur pati serta tingkat gelatinisasi yang terjadi selama proses pengolahan. Kemampuan menyerap air ini sangat penting dalam produk seperti mie, roti, dan bubur instan, karena berkontribusi terhadap kelembutan dan tekstur produk.

Nilai WSI menunjukkan jumlah komponen larut dalam air yang dilepaskan dari bahan selama proses hidrasi. Nilai WSI yang tinggi biasanya menunjukkan adanya degradasi pati atau komponen lain menjadi molekul yang lebih kecil dan larut. Pada labu kuning, WSI dapat meningkat akibat proses pemanasan atau ekstrusi yang menyebabkan pemecahan struktur pati. Parameter ini penting dalam menentukan tingkat kelarutan bahan dalam air, yang berpengaruh pada produk instan dan minuman berbasis tepung.

Swelling power menggambarkan kemampuan granula pati untuk mengembang ketika dipanaskan dalam air. Parameter ini berkaitan erat dengan struktur internal pati dan interaksi antar molekul amilosa dan amilopektin. Pada labu kuning, *swelling power* dipengaruhi oleh kandungan pati serta kondisi pengolahan. Granula pati yang mampu mengembang dengan baik akan menghasilkan tekstur yang lebih kental dan stabil, yang sangat penting dalam produk seperti saus, sup, dan produk berbasis gel.

Ketiga parameter tersebut saling berkaitan dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti komposisi bahan, ukuran partikel, serta kondisi pengolahan. Proses seperti pengeringan, penggilingan, dan ekstrusi dapat mengubah struktur pati dan serat, sehingga memengaruhi nilai WAI, WSI, dan *swelling power*. Misalnya, pengolahan dengan suhu tinggi dapat meningkatkan gelatinisasi pati, yang pada gilirannya meningkatkan WAI dan WSI. Oleh karena itu, pengendalian proses menjadi penting dalam mengoptimalkan sifat fungsional bahan.

Selain itu, keberadaan komponen lain seperti serat dan protein juga dapat memengaruhi sifat fungsional. Serat pangan dapat meningkatkan kapasitas retensi air, sementara protein dapat berinteraksi dengan pati dan memengaruhi struktur gel yang terbentuk. Interaksi antar komponen ini menghasilkan karakteristik bahan yang unik, yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan produk pangan dengan tekstur dan stabilitas yang diinginkan. Oleh karena itu, formulasi bahan perlu mempertimbangkan keseimbangan komponen untuk mencapai sifat fungsional yang optimal.

Dengan demikian, sifat fungsional seperti WAI, WSI, dan *swelling power* merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas dan aplikasi bahan pangan berbasis labu kuning. Pemahaman yang mendalam mengenai sifat-sifat ini memungkinkan pengembangan produk yang memiliki karakteristik fisik dan sensoris yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Integrasi antara komposisi bahan, proses pengolahan, dan sifat fungsional menjadi kunci dalam

menghasilkan produk pangan fungsional yang berkualitas tinggi dan berdaya saing.

7.2 Struktur Pati dan Serat

Struktur pati dan serat merupakan komponen utama dalam menentukan sifat fisik, kimia, dan fungsional bahan pangan berbasis nabati, termasuk labu kuning. Pati merupakan polisakarida utama penyusun karbohidrat yang tersusun atas dua fraksi, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur linier dengan ikatan α -(1 $\rightarrow$ 4), sedangkan amilopektin memiliki struktur bercabang dengan ikatan α -(1 $\rightarrow$ 4) dan α -(1 $\rightarrow$ 6). Proporsi dan interaksi antara kedua fraksi ini sangat memengaruhi sifat gelatinisasi, viskositas, dan pencernaan pati dalam sistem pangan.

Granula pati dalam labu kuning memiliki ukuran dan bentuk yang bervariasi, serta tersusun dalam struktur semi-kristalin yang terdiri atas daerah kristalin dan amorf (Theanjumol & Maniwara, 2022). Daerah kristalin terutama dibentuk oleh rantai amilopektin yang tersusun teratur, sedangkan daerah amorf mengandung amilosa dan bagian bercabang dari amilopektin. Struktur ini menentukan respons pati terhadap perlakuan panas dan air, seperti gelatinisasi dan retrogradasi. Selama proses pemanasan, granula pati menyerap air, mengembang, dan kehilangan struktur kristalinnya, sehingga membentuk gel yang berkontribusi terhadap tekstur produk.

Selain pati, serat pangan dalam labu kuning terdiri atas komponen struktural seperti selulosa, hemiselulosa, dan pektin. Selulosa merupakan polisakarida linier dengan ikatan β -(1 $\rightarrow$ 4) yang tidak dapat dicerna oleh enzim manusia, sehingga berfungsi sebagai serat tidak larut. Hemiselulosa memiliki struktur yang lebih kompleks dan bercabang, sementara pektin merupakan serat larut yang mampu membentuk gel dalam kondisi tertentu. Kombinasi berbagai jenis serat ini memberikan kontribusi terhadap sifat fungsional bahan, terutama dalam hal retensi air dan tekstur.

Interaksi antara pati dan serat dalam matriks pangan memainkan peran penting dalam menentukan sifat fungsional dan pencernaan bahan. Serat dapat menghambat pengembangan granula pati dengan membatasi akses air, sehingga memengaruhi gelatinisasi dan viskositas. Selain itu, keberadaan serat dapat memperlambat enzim pencernaan dalam mengakses pati, yang berdampak pada penurunan kecepatan hidrolisis pati dan respon glikemik. Hal ini menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional dengan indeks glikemik rendah.

Struktur pati dan serat juga dipengaruhi oleh proses pengolahan, seperti pemanasan, pengeringan, dan ekstrusi. Proses ini dapat menyebabkan perubahan pada struktur kristalin pati, degradasi rantai polimer, serta modifikasi struktur serat. Misalnya, pemanasan dapat menyebabkan gelatinisasi pati dan pembentukan struktur gel, sementara pendinginan dapat memicu retrogradasi yang menghasilkan pati resisten. Perubahan ini tidak hanya memengaruhi tekstur, tetapi juga ketersediaan nutrisi dan sifat fungsional bahan.

Dalam analisis ilmiah, karakterisasi struktur pati dan serat sering dilakukan menggunakan teknik seperti *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan tingkat kristalinitas pati, sementara SEM memberikan gambaran morfologi granula pati dan distribusi serat dalam matriks bahan. Informasi ini sangat penting dalam memahami hubungan antara struktur mikro dan sifat makroskopik bahan pangan.

Dengan demikian, struktur pati dan serat dalam labu kuning memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas dan fungsi bahan dalam sistem pangan. Interaksi kompleks antara komponen-komponen ini memengaruhi sifat fisik, pencernaan, dan manfaat kesehatan produk. Pemahaman yang mendalam mengenai struktur pati dan serat akan mendukung pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning yang memiliki karakteristik optimal, baik dari segi tekstur, stabilitas, maupun nilai gizi.

7.3 Analisis FTIR

Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan salah satu teknik spektroskopi yang sering digunakan dalam ilmu pangan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan memahami struktur kimia suatu bahan. Pada bahan berbasis labu kuning, FTIR berperan penting dalam mengkaji perubahan struktur molekuler akibat proses pengolahan serta interaksi antar komponen, seperti pati, serat, dan senyawa bioaktif (Moraes *et al.*, 2022). Teknik ini bekerja dengan mendeteksi penyerapan radiasi inframerah oleh molekul, yang menghasilkan spektrum khas berdasarkan vibrasi ikatan kimia tertentu.

Spektrum FTIR umumnya ditampilkan dalam bentuk kurva hubungan antara bilangan gelombang (cm^{-1}) dan intensitas serapan. Setiap puncak pada spektrum mencerminkan gugus fungsi tertentu dalam bahan. Misalnya, pita serapan pada kisaran $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ biasanya dikaitkan dengan vibrasi gugus hidroksil (--OH), yang banyak terdapat pada polisakarida seperti pati dan serat. Pita pada sekitar 2900 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi ikatan C--H , sedangkan pita pada kisaran $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ sering dihubungkan dengan struktur karbohidrat, khususnya pati.

Dalam studi bahan berbasis pati, termasuk labu kuning, daerah “fingerprint” pada kisaran $1200\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ menjadi sangat penting. Rasio intensitas puncak pada sekitar 1047 cm^{-1} dan 1022 cm^{-1} sering digunakan sebagai indikator tingkat kristalinitas dan keteraturan struktur pati. Puncak pada 1047 cm^{-1} biasanya dikaitkan dengan daerah kristalin, sedangkan puncak pada 1022 cm^{-1} mewakili daerah amorf. Perubahan rasio ini dapat menunjukkan perubahan struktur akibat proses seperti gelatinisasi atau retrogradasi.

Analisis FTIR juga digunakan untuk mengevaluasi pengaruh proses pengolahan terhadap struktur bahan. Proses seperti pemanasan, pengeringan, dan ekstrusi dapat menyebabkan perubahan pada ikatan kimia dan susunan molekul. Misalnya, gelatinisasi pati selama pemanasan akan menyebabkan penurunan tingkat kristalinitas, yang

dapat terdeteksi melalui perubahan intensitas pita pada daerah fingerprint. Selain itu, interaksi antara pati dan komponen lain, seperti protein atau serat, juga dapat diamati melalui pergeseran atau perubahan intensitas pita serapan.

Keunggulan utama FTIR adalah kemampuannya dalam memberikan informasi cepat dan non-destruktif mengenai struktur kimia bahan. Teknik ini tidak memerlukan preparasi sampel yang kompleks dan dapat digunakan untuk berbagai bentuk bahan, baik padat maupun cair. Dalam penelitian pangan, FTIR sering digunakan sebagai alat pendukung untuk mengonfirmasi hasil analisis lain, seperti analisis sifat fungsional dan pencernaan, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai karakteristik bahan.

Selain itu, FTIR juga dapat digunakan untuk mempelajari interaksi antara senyawa bioaktif dengan matriks pangan. Misalnya, interaksi antara karotenoid dengan lipid atau antara senyawa fenolik dengan polisakarida dapat memengaruhi stabilitas dan bioavailabilitas senyawa tersebut. Perubahan dalam interaksi ini dapat terdeteksi melalui perubahan spektrum FTIR, sehingga memberikan informasi penting dalam pengembangan produk pangan fungsional.

Dengan demikian, analisis FTIR merupakan alat yang sangat berguna dalam memahami struktur kimia dan perubahan yang terjadi pada bahan berbasis labu kuning. Informasi yang diperoleh dari analisis ini dapat digunakan untuk menghubungkan struktur molekuler dengan sifat fungsional dan kualitas produk. Integrasi FTIR dengan teknik analisis lainnya akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam, sehingga mendukung pengembangan pangan fungsional yang berbasis ilmiah dan berkualitas tinggi.

7.4 Analisis SEM

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan teknik mikroskopi yang digunakan untuk mengamati struktur mikro dan morfologi permukaan bahan dengan resolusi tinggi. Dalam bidang

ilmu pangan, SEM sangat penting untuk memahami hubungan antara struktur mikro bahan dengan sifat fisik dan fungsionalnya. Pada bahan berbasis labu kuning, analisis SEM digunakan untuk mengkaji bentuk granula pati, distribusi serat, serta perubahan struktur akibat proses pengolahan seperti pengeringan dan ekstrusi.

Prinsip kerja SEM didasarkan pada interaksi antara berkas elektron dengan permukaan sampel. Ketika elektron mengenai permukaan bahan, akan dihasilkan sinyal yang dapat dikonversi menjadi citra dengan tingkat detail yang sangat tinggi. Teknik ini memungkinkan pengamatan struktur pada skala mikrometer hingga nanometer, sehingga sangat berguna untuk melihat detail morfologi yang tidak dapat diamati dengan mikroskop optik biasa. Dalam analisis bahan pangan, SEM memberikan informasi visual mengenai struktur internal dan permukaan bahan.

Pada labu kuning, SEM dapat digunakan untuk mengamati bentuk dan ukuran granula pati. Granula pati biasanya terlihat sebagai partikel berbentuk bulat atau oval dengan ukuran yang bervariasi. Struktur permukaan granula yang halus menunjukkan kondisi pati yang masih utuh, sedangkan permukaan yang retak atau rusak menunjukkan adanya perlakuan mekanis atau termal. Informasi ini penting untuk memahami bagaimana pati bereaksi terhadap proses pengolahan dan bagaimana hal tersebut memengaruhi sifat fungsional bahan.

Selain pati, SEM juga digunakan untuk mengamati distribusi dan struktur serat dalam matriks bahan. Serat pangan dapat terlihat sebagai struktur memanjang atau jaringan yang saling terhubung dalam matriks. Keberadaan serat ini memengaruhi tekstur dan kemampuan retensi air bahan. Interaksi antara pati dan serat juga dapat diamati melalui SEM, yang memberikan gambaran mengenai bagaimana kedua komponen tersebut berkontribusi terhadap sifat fisik dan mekanik produk.

Proses pengolahan seperti pengeringan dan ekstrusi dapat menyebabkan perubahan signifikan pada struktur mikro bahan yang

dapat diamati melalui SEM. Pengeringan dapat menyebabkan penyusutan dan pembentukan pori-pori pada bahan, sementara ekstrusi dapat menghasilkan struktur yang lebih berpori dan terfragmentasi akibat tekanan dan suhu tinggi. Perubahan ini memengaruhi sifat seperti kerapatan, tekstur, dan kemampuan rehidrasi bahan, yang sangat penting dalam aplikasi produk pangan.

Analisis SEM juga memberikan wawasan mengenai hubungan antara struktur mikro dan sifat makroskopik produk. Misalnya, struktur yang lebih berpori dapat meningkatkan kemampuan penyerapan air dan memberikan tekstur yang lebih ringan pada produk ekstrusi. Sebaliknya, struktur yang lebih padat dapat menghasilkan tekstur yang lebih keras dan kompak. Dengan demikian, informasi dari SEM dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses pengolahan dan formulasi produk agar mencapai karakteristik yang diinginkan.

Dengan demikian, SEM merupakan alat analisis yang sangat penting dalam studi bahan pangan berbasis labu kuning. Teknik ini memungkinkan pemahaman yang mendalam mengenai struktur mikro dan perubahan yang terjadi selama proses pengolahan. Integrasi hasil analisis SEM dengan data sifat fungsional dan komposisi kimia akan memberikan gambaran yang komprehensif, sehingga mendukung pengembangan produk pangan fungsional yang berkualitas tinggi dan memiliki performa optimal.

7.5 Hubungan Struktur–Fungsi

Hubungan struktur–fungsi merupakan konsep fundamental dalam ilmu pangan yang menjelaskan bagaimana karakteristik struktural suatu bahan memengaruhi sifat fisik, kimia, dan fungsionalnya. Pada bahan berbasis labu kuning, struktur mikro yang terbentuk dari interaksi antara pati, serat, dan komponen lain sangat menentukan performa bahan dalam berbagai aplikasi pangan (Ge *et al.*, 2021). Pemahaman terhadap hubungan ini menjadi penting untuk mengoptimalkan kualitas produk, baik dari segi tekstur, stabilitas, maupun nilai gizi.

Struktur pati, khususnya rasio amilosa dan amilopektin, memiliki pengaruh besar terhadap sifat fungsional seperti gelatinisasi, viskositas, dan pembentukan gel. Amilosa yang bersifat linier cenderung membentuk struktur gel yang lebih kuat, sementara amilopektin yang bercabang memberikan sifat elastis dan kemampuan mengembang yang tinggi. Pada labu kuning, komposisi pati ini memengaruhi kemampuan bahan dalam menyerap air, mengembang, serta membentuk tekstur yang diinginkan dalam produk seperti mie, bubur instan, dan produk ekstrusi.

Selain pati, struktur serat juga memainkan peran penting dalam menentukan sifat fungsional bahan. Serat pangan membentuk jaringan yang dapat menahan air dan memberikan kekuatan mekanik pada matriks bahan. Struktur ini tidak hanya memengaruhi tekstur, tetapi juga berperan dalam memperlambat difusi air dan enzim selama proses pencernaan. Dengan demikian, keberadaan serat dalam labu kuning berkontribusi terhadap sifat fungsional seperti kapasitas retensi air dan pengendalian pencernaan pati.

Interaksi antara pati dan serat dalam matriks pangan menciptakan struktur yang kompleks dan dinamis. Serat dapat menghambat pengembangan granula pati dengan membatasi akses air, sehingga memengaruhi proses gelatinisasi. Selain itu, interaksi ini juga dapat membentuk matriks yang lebih kompak atau lebih berpori, tergantung pada kondisi pengolahan. Struktur yang terbentuk ini akan menentukan sifat akhir produk, seperti kekerasan, kekenyalan, dan stabilitas selama penyimpanan.

Proses pengolahan memiliki peran penting dalam membentuk dan memodifikasi struktur bahan, yang pada akhirnya memengaruhi fungsi. Pemanasan dapat menyebabkan gelatinisasi pati dan perubahan struktur kristalin, sementara pendinginan dapat memicu retrogradasi yang menghasilkan struktur lebih padat. Ekstrusi, dengan kombinasi tekanan dan suhu tinggi, dapat menghasilkan struktur berpori yang meningkatkan kemampuan rehidrasi dan memberikan tekstur yang khas. Perubahan-perubahan ini menunjukkan bahwa

fungsi bahan sangat bergantung pada struktur yang terbentuk selama proses.

Hubungan struktur–fungsi juga berkaitan dengan bioavailabilitas dan manfaat kesehatan bahan pangan. Struktur matriks yang lebih terbuka dapat meningkatkan pelepasan dan penyerapan senyawa bioaktif, seperti β -karoten dan senyawa fenolik. Sebaliknya, struktur yang lebih padat dapat memperlambat pencernaan pati dan memberikan efek indeks glikemik yang lebih rendah. Oleh karena itu, manipulasi struktur melalui proses pengolahan dapat digunakan sebagai strategi untuk meningkatkan nilai fungsional produk.

Dengan demikian, hubungan antara struktur dan fungsi dalam bahan berbasis labu kuning merupakan aspek yang sangat penting dalam pengembangan pangan fungsional. Pemahaman yang mendalam mengenai bagaimana struktur mikro memengaruhi sifat makroskopik dan manfaat kesehatan akan memungkinkan desain produk yang lebih optimal. Integrasi antara analisis struktur, seperti FTIR dan SEM, dengan evaluasi sifat fungsional akan memberikan pendekatan ilmiah yang kuat dalam menciptakan produk pangan yang inovatif, berkualitas, dan memiliki nilai tambah tinggi.

BAB 8.

KECERNAAN PATI DAN RESPON GLIKEMIK

8.1 Konsep Kecernaan Pati

Konsep fraksi kecernaan pati yang terdiri atas *Rapidly Digestible Starch* (RDS), *Slowly Digestible Starch* (SDS), dan *Resistant Starch* (RS) merupakan pendekatan penting dalam memahami bagaimana karbohidrat memengaruhi respon glikemik dan kesehatan metabolik. Pati sebagai komponen utama karbohidrat tidak dicerna secara seragam, melainkan memiliki tingkat kecernaan yang berbeda tergantung pada struktur dan kondisi pengolahan. Pembagian ini memberikan kerangka ilmiah untuk mengevaluasi kualitas karbohidrat dalam pangan, terutama dalam pengembangan pangan fungsional yang berorientasi pada kesehatan.

RDS adalah fraksi pati yang dicerna dengan cepat dalam saluran pencernaan dan segera diubah menjadi glukosa dalam waktu singkat, biasanya dalam 20 menit pertama proses pencernaan. Fraksi ini berkontribusi terhadap peningkatan cepat kadar glukosa darah setelah konsumsi. Pangan dengan kandungan RDS yang tinggi cenderung memiliki indeks glikemik tinggi, yang dapat memicu lonjakan gula darah dan kurang ideal bagi individu dengan risiko diabetes atau gangguan metabolik.

Sebaliknya, SDS merupakan fraksi pati yang dicerna secara lebih lambat dan bertahap. Nilai SDS memberikan pelepasan glukosa yang lebih stabil dan berkelanjutan dalam aliran darah, sehingga membantu menjaga kestabilan kadar glukosa. Pangan yang kaya SDS dianggap lebih menguntungkan dalam menjaga energi yang berkelanjutan dan mengurangi fluktuasi glikemik. Oleh karena itu, peningkatan fraksi SDS dalam produk pangan menjadi salah satu tujuan dalam formulasi pangan sehat.

RS adalah fraksi pati yang tidak dicerna di usus halus dan mencapai usus besar dalam bentuk utuh. Di dalam usus besar, RS difermentasi oleh mikrobiota usus menjadi asam lemak rantai pendek, seperti butirat, yang memiliki berbagai manfaat kesehatan. RS berperan sebagai prebiotik, meningkatkan kesehatan mikrobiota usus, serta berkontribusi dalam pengendalian glukosa darah dan penurunan risiko penyakit metabolik. Dengan demikian, RS memiliki fungsi ganda sebagai komponen nutrisi dan agen fungsional.

Proporsi RDS, SDS, dan RS dalam suatu bahan pangan dipengaruhi oleh struktur pati, khususnya rasio amilosa dan amilopektin, serta kondisi pengolahan. Pati dengan kandungan amilosa tinggi cenderung memiliki fraksi RS yang lebih besar, karena struktur liniernya lebih sulit diakses oleh enzim pencernaan. Selain itu, proses seperti pemanasan dan pendinginan dapat menyebabkan retrogradasi pati, yang meningkatkan pembentukan RS. Oleh karena itu, manipulasi proses pengolahan dapat digunakan untuk mengatur komposisi fraksi pati dalam produk pangan.

Dalam konteks labu kuning, pengolahan seperti pengeringan dan ekstrusi dapat memengaruhi distribusi fraksi pati. Proses ekstrusi, misalnya, dapat meningkatkan pencernaan pati melalui gelatinisasi, sehingga meningkatkan fraksi RDS. Namun, pendinginan setelah proses dapat memicu pembentukan RS melalui retrogradasi. Dengan demikian, pengaturan kondisi proses menjadi penting untuk menghasilkan produk dengan profil pencernaan yang diinginkan, terutama untuk aplikasi pangan fungsional.

Dengan demikian, konsep RDS, SDS, dan RS memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kualitas karbohidrat dalam pangan. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk yang tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga mendukung kesehatan metabolik. Dalam pengembangan pangan berbasis labu kuning, pengaturan fraksi pati melalui formulasi dan proses pengolahan menjadi strategi penting untuk menghasilkan produk

dengan indeks glikemik yang lebih baik dan manfaat kesehatan yang optimal.

8.2 Faktor yang Mempengaruhi Kecernaan

Kecernaan merupakan parameter penting dalam menilai bagaimana suatu bahan pangan, khususnya karbohidrat seperti pati, dipecah dan diserap oleh tubuh. Tingkat kecernaan tidak hanya menentukan ketersediaan energi, tetapi juga berpengaruh terhadap respon glikemik dan kesehatan metabolik (Dawson *et al.*, 2025). Pada bahan berbasis labu kuning, kecernaan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi, mulai dari struktur kimia, komposisi bahan, hingga kondisi pengolahan dan matriks pangan secara keseluruhan.

Salah satu faktor utama yang memengaruhi kecernaan adalah struktur pati, khususnya rasio antara amilosa dan amilopektin. Amilosa yang memiliki struktur linier cenderung lebih sulit diakses oleh enzim pencernaan dibandingkan amilopektin yang bercabang. Oleh karena itu, bahan dengan kandungan amilosa tinggi biasanya memiliki kecernaan yang lebih rendah dan menghasilkan respon glikemik yang lebih lambat. Struktur kristalin dan tingkat keteraturan granula pati juga berperan dalam menentukan kemudahan enzim dalam menghidrolisis pati.

Ukuran dan bentuk granula pati juga menjadi faktor penting dalam kecernaan. Granula yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga lebih mudah diakses oleh enzim pencernaan. Sebaliknya, granula yang lebih besar atau memiliki struktur yang lebih padat cenderung lebih resisten terhadap hidrolisis. Pada labu kuning, variasi ukuran granula pati serta distribusinya dalam matriks bahan akan memengaruhi kecepatan dan tingkat kecernaan.

Keberadaan serat pangan dalam bahan juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kecernaan. Serat dapat membentuk penghalang fisik yang menghambat akses enzim ke substrat pati, sehingga

memperlambat proses hidrolisis. Selain itu, serat larut dapat meningkatkan viskositas dalam saluran pencernaan, yang menghambat difusi enzim dan produk hidrolisis. Dengan demikian, kandungan serat dalam labu kuning berperan dalam menurunkan pencernaan pati dan memberikan efek pengendalian glukosa darah.

Proses pengolahan merupakan faktor eksternal yang sangat memengaruhi pencernaan bahan pangan. Pemanasan dapat menyebabkan gelatinisasi pati, yang meningkatkan ketersediaan pati bagi enzim pencernaan dan meningkatkan pencernaan. Namun, proses pendinginan setelah pemanasan dapat menyebabkan retrogradasi pati, yang menghasilkan pati resisten (RS) yang sulit dicerna. Teknik pengolahan seperti ekstrusi, pengeringan, dan fermentasi dapat mengubah struktur bahan secara signifikan, sehingga memengaruhi profil pencernaan (Qiu *et al.*, 2024).

Interaksi antar komponen dalam matriks pangan juga berperan dalam menentukan pencernaan. Protein dan lipid dapat membentuk kompleks dengan pati yang menghambat akses enzim, sementara senyawa fenolik dapat berinteraksi dengan enzim pencernaan dan mengurangi aktivitasnya. Selain itu, struktur matriks yang lebih padat atau kompak dapat memperlambat penetrasi enzim, sehingga menurunkan laju pencernaan. Interaksi ini menunjukkan bahwa pencernaan tidak hanya ditentukan oleh satu komponen, tetapi oleh keseluruhan sistem pangan.

Dengan demikian, pencernaan bahan pangan merupakan hasil dari interaksi kompleks antara faktor intrinsik dan ekstrinsik. Pemahaman yang mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi pencernaan memungkinkan pengembangan produk pangan dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan kesehatan, seperti produk dengan indeks glikemik rendah. Dalam pengembangan pangan berbasis labu kuning, manipulasi struktur bahan dan kondisi proses menjadi strategi penting untuk mengontrol pencernaan dan meningkatkan nilai fungsional produk.

8.3 Metode Analisis *In Vitro*

Metode analisis *in vitro* merupakan pendekatan eksperimental yang digunakan untuk mensimulasikan proses pencernaan dalam kondisi laboratorium guna mengevaluasi pencernaan pati dan pelepasan glukosa dari bahan pangan (Fernandes *et al.*, 2020). Metode ini menjadi sangat penting dalam penelitian pangan fungsional karena memungkinkan penilaian awal terhadap respon glikemik tanpa melibatkan uji pada manusia. Dalam studi bahan berbasis labu kuning, analisis *in vitro* banyak digunakan untuk menentukan fraksi pati seperti Rapidly Digestible Starch (RDS), Slowly Digestible Starch (SDS), dan Resistant Starch (RS).

Prinsip dasar metode *in vitro* adalah mensimulasikan kondisi pencernaan di saluran gastrointestinal, khususnya pada tahap pencernaan enzimatik di usus halus. Sampel bahan pangan diinkubasi dengan enzim pencernaan seperti α -amilase dan glukamilase pada suhu fisiologis sekitar 37°C. Proses ini dilakukan dalam kondisi terkontrol untuk meniru aktivitas enzim dalam tubuh manusia. Selama inkubasi, pati dalam sampel akan dihidrolisis menjadi glukosa, yang kemudian diukur sebagai indikator tingkat pencernaan.

Dalam prosedur analisis, pengambilan sampel biasanya dilakukan pada waktu tertentu, misalnya pada menit ke-20 dan ke-120. Glukosa yang dilepaskan dalam 20 menit pertama digunakan untuk menghitung fraksi RDS, sedangkan glukosa yang dilepaskan antara 20 hingga 120 menit digunakan untuk menentukan fraksi SDS. Sisa pati yang tidak terhidrolisis setelah 120 menit dikategorikan sebagai RS. Pendekatan ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai distribusi fraksi pati dalam bahan pangan.

Pengukuran glukosa hasil hidrolisis biasanya dilakukan menggunakan metode spektrofotometri, dengan bantuan reagen enzimatik seperti glukosa oksidase-peroksidase. Intensitas warna yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi glukosa dalam sampel. Metode ini memiliki tingkat akurasi dan sensitivitas yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam analisis pencernaan pati. Selain itu,

metode ini relatif cepat dan dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis sampel pangan.

Keunggulan utama metode *in vitro* adalah kemampuannya untuk memberikan hasil yang konsisten, cepat, dan relatif murah dibandingkan dengan uji *in vivo*. Metode ini juga memungkinkan pengujian berbagai kondisi proses dan formulasi secara efisien. Namun, perlu diperhatikan bahwa hasil *in vitro* tidak selalu sepenuhnya mencerminkan kondisi fisiologis dalam tubuh manusia, karena tidak mempertimbangkan faktor kompleks seperti hormon, pergerakan usus, dan interaksi sistemik.

Dalam konteks pengembangan produk berbasis labu kuning, metode *in vitro* sangat berguna untuk mengevaluasi pengaruh proses pengolahan terhadap pencernaan pati. Misalnya, pengaruh ekstrusi, pengeringan, atau modifikasi formulasi terhadap distribusi fraksi RDS, SDS, dan RS dapat dianalisis secara sistematis. Informasi ini penting untuk merancang produk dengan indeks glikemik yang lebih rendah dan karakteristik nutrisi yang lebih baik.

Dengan demikian, metode analisis *in vitro* merupakan alat yang sangat penting dalam penelitian dan pengembangan pangan fungsional. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pencernaan pati dan respon glikemik potensial suatu bahan pangan. Integrasi hasil analisis *in vitro* dengan data struktur dan sifat fungsional akan memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam pengembangan produk berbasis labu kuning yang sehat dan inovatif.

8.4 Indeks Glikemik

Indeks glikemik (IG) merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengukur kecepatan suatu pangan dalam meningkatkan kadar glukosa darah setelah dikonsumsi. Konsep ini diperkenalkan untuk membantu mengklasifikasikan kualitas karbohidrat berdasarkan respon fisiologis yang dihasilkan dalam

tubuh. Pangan dengan IG tinggi akan menyebabkan lonjakan glukosa darah yang cepat, sedangkan pangan dengan IG rendah menghasilkan peningkatan glukosa yang lebih lambat dan stabil. Dalam konteks pangan fungsional, pengendalian IG menjadi sangat penting, terutama untuk pencegahan dan pengelolaan penyakit metabolik seperti diabetes.

Penentuan nilai IG dilakukan dengan membandingkan respon glukosa darah setelah konsumsi pangan uji dengan respon terhadap pangan standar, biasanya glukosa murni atau roti putih. Pengukuran dilakukan dengan memantau kadar glukosa darah dalam interval waktu tertentu setelah konsumsi, kemudian dihitung sebagai luas area di bawah kurva respon glukosa (*incremental area under the curve*, iAUC). Nilai IG dinyatakan dalam persentase relatif terhadap pangan standar. Pangan dengan nilai IG di bawah 55 dikategorikan sebagai IG rendah, 56–69 sebagai IG sedang, dan di atas 70 sebagai IG tinggi (Khaliq *et al.*, 2026).

Nilai IG suatu bahan pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama struktur dan komposisi karbohidrat. Kandungan amilosa yang tinggi cenderung menurunkan IG karena struktur liniernya lebih sulit dicerna. Sebaliknya, amilopektin yang bercabang lebih mudah dihidrolisis oleh enzim, sehingga meningkatkan IG. Selain itu, ukuran partikel, tingkat gelatinisasi pati, serta keberadaan pati resisten juga memengaruhi kecepatan pencernaan dan absorpsi glukosa.

Komponen lain dalam matriks pangan, seperti serat, protein, dan lemak, juga berperan dalam memodulasi nilai IG. Serat pangan dapat memperlambat pengosongan lambung dan penyerapan glukosa, sehingga menurunkan IG. Protein dan lemak dapat memperlambat pencernaan karbohidrat serta meningkatkan respon insulin, yang membantu mengontrol kadar glukosa darah. Oleh karena itu, formulasi pangan yang mengombinasikan berbagai komponen ini dapat menghasilkan produk dengan IG yang lebih rendah.

Proses pengolahan juga memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai IG. Pemanasan yang menyebabkan gelatinisasi pati dapat

meningkatkan pencernaan dan menaikkan IG. Namun, proses pendinginan setelah pemanasan dapat memicu retrogradasi pati, yang meningkatkan pembentukan pati resisten dan menurunkan IG. Teknik pengolahan seperti ekstrusi, pengeringan, dan fermentasi dapat dimanfaatkan untuk mengatur struktur pati dan menghasilkan produk dengan profil glikemik yang lebih baik.

Dalam pengembangan produk berbasis labu kuning, pengendalian IG menjadi salah satu tujuan penting. Labu kuning secara alami memiliki kandungan serat dan senyawa bioaktif yang dapat membantu menurunkan respon glikemik. Selain itu, kombinasi dengan bahan lain seperti mocaf atau sorgum dapat digunakan untuk memodifikasi struktur karbohidrat dan meningkatkan kandungan pati resisten. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk pangan yang tidak hanya bergizi, tetapi juga memiliki manfaat kesehatan yang spesifik.

Dengan demikian, indeks glikemik merupakan indikator penting dalam menilai kualitas karbohidrat dan dampaknya terhadap kesehatan. Pemahaman yang mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi IG memungkinkan pengembangan pangan fungsional yang lebih sehat dan sesuai dengan kebutuhan konsumen modern. Dalam konteks buku ini, pengendalian IG melalui pemanfaatan labu kuning dan teknologi pengolahan yang tepat menjadi strategi yang efektif dalam mendukung kesehatan metabolik dan pencegahan penyakit kronis.

8.5 Implikasi Kesehatan

Implikasi kesehatan dari konsumsi pangan berbasis labu kuning berkaitan erat dengan komposisi nutrisi, kandungan senyawa bioaktif, serta karakteristik pencernaan yang telah dibahas pada bagian sebelumnya. Kombinasi antara serat pangan, karotenoid, senyawa fenolik, dan profil pencernaan pati memberikan kontribusi terhadap berbagai manfaat fisiologis. Dalam konteks pangan fungsional, implikasi ini tidak hanya bersifat preventif terhadap penyakit, tetapi

juga mendukung peningkatan kualitas hidup melalui pola konsumsi yang lebih sehat.

Salah satu implikasi utama adalah pengaruh terhadap kesehatan metabolik, khususnya dalam pengendalian kadar glukosa darah. Kandungan serat dan keberadaan fraksi pati yang dicerna secara lambat membantu mengurangi lonjakan glukosa setelah makan. Hal ini sangat penting dalam pencegahan dan pengelolaan diabetes melitus. Selain itu, pangan dengan indeks glikemik yang lebih rendah dapat membantu menjaga kestabilan energi dan mengurangi risiko resistensi insulin dalam jangka panjang.

Selain itu, labu kuning memiliki potensi dalam mendukung kesehatan sistem pencernaan. Kandungan serat pangan, terutama serat larut, berperan sebagai prebiotik yang mendukung pertumbuhan mikrobiota usus yang bermanfaat. Fermentasi serat oleh mikrobiota menghasilkan asam lemak rantai pendek, seperti butirat, yang berperan dalam menjaga kesehatan mukosa usus dan mengurangi inflamasi. Dengan demikian, konsumsi labu kuning dapat berkontribusi terhadap keseimbangan mikrobiota dan fungsi saluran pencernaan yang optimal.

Implikasi kesehatan lainnya berkaitan dengan aktivitas antioksidan dari senyawa bioaktif seperti β -karoten dan fenolik. Senyawa ini mampu menetralkan radikal bebas dan mengurangi stres oksidatif, yang merupakan faktor risiko utama dalam berbagai penyakit degeneratif, termasuk penyakit kardiovaskular dan kanker. Aktivitas antioksidan ini juga berperan dalam memperlambat proses penuaan sel dan menjaga integritas jaringan tubuh.

Labu kuning juga berkontribusi terhadap kesehatan mata melalui kandungan β -karoten yang berfungsi sebagai provitamin A. Vitamin A penting untuk menjaga fungsi retina dan mencegah gangguan penglihatan, seperti rabun senja. Selain itu, karotenoid lain seperti lutein dan zeaksantin berperan dalam melindungi mata dari kerusakan akibat paparan cahaya dan stres oksidatif. Oleh karena itu,

konsumsi labu kuning dapat menjadi bagian dari strategi diet untuk menjaga kesehatan visual.

Dalam konteks kesehatan kardiovaskular, kandungan kalium dan senyawa bioaktif dalam labu kuning berperan dalam menjaga tekanan darah dan fungsi jantung. Kalium membantu mengatur keseimbangan elektrolit dan mengurangi efek natrium dalam tubuh, sehingga dapat menurunkan risiko hipertensi. Selain itu, aktivitas antiinflamasi dari senyawa fenolik juga berkontribusi dalam mengurangi risiko aterosklerosis dan penyakit jantung.

Dengan demikian, implikasi kesehatan dari konsumsi labu kuning sangat luas dan mencakup berbagai aspek fisiologis. Integrasi antara kandungan nutrisi, senyawa bioaktif, dan karakteristik pencernaan menjadikan labu kuning sebagai bahan pangan yang potensial dalam mendukung kesehatan secara menyeluruh. Pemanfaatan labu kuning dalam pengembangan pangan fungsional tidak hanya memberikan nilai tambah dari segi gizi, tetapi juga berkontribusi dalam upaya pencegahan penyakit dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

BAB 9.

PENGEMBANGAN PRODUK PANGAN INOVATIF

9.1 Formulasi Produk

Formulasi produk merupakan tahap krusial dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning, karena menentukan keseimbangan antara nilai gizi, sifat fungsional, dan penerimaan sensoris. Pada tahap ini, pemilihan proporsi bahan, interaksi antar komponen, serta tujuan produk harus dirancang secara sistematis. Formulasi yang baik tidak hanya mempertimbangkan kandungan nutrisi, tetapi juga bagaimana bahan tersebut berperilaku selama proses pengolahan dan konsumsi, sehingga menghasilkan produk yang stabil, aman, dan disukai konsumen.

Dalam formulasi berbasis labu kuning, bahan ini dapat digunakan dalam bentuk puree atau tepung, tergantung pada jenis produk yang dikembangkan. Puree lebih cocok untuk produk dengan tekstur lembut seperti bubur instan dan bakery, sedangkan tepung lebih fleksibel untuk produk berbasis kering seperti mie, cookies, dan beras analog. Proporsi penggunaan labu kuning perlu dioptimalkan agar memberikan kontribusi warna, rasa, dan nilai gizi tanpa mengganggu struktur produk, terutama dalam sistem berbasis pati atau gluten.

Interaksi antara labu kuning dengan bahan lain seperti tepung sereal (misalnya gandum, mocaf, atau sorgum) sangat menentukan karakteristik akhir produk. Kandungan serat dan air dalam labu kuning dapat memengaruhi viskositas adonan, daya serap air, serta tekstur produk. Oleh karena itu, penyesuaian kadar air, bahan pengikat, dan agen pembentuk struktur seperti protein atau hidrokolloid sering diperlukan untuk mencapai tekstur yang diinginkan. Pendekatan ini memungkinkan formulasi produk yang lebih stabil dan konsisten.

Selain aspek fisik, formulasi juga harus mempertimbangkan aspek nutrisi dan fungsi kesehatan. Penambahan labu kuning dapat meningkatkan kandungan β -karoten, serat, dan antioksidan dalam produk. Namun, keseimbangan dengan komponen lain seperti protein dan lemak perlu diperhatikan untuk menghasilkan profil gizi yang optimal. Dalam beberapa kasus, fortifikasi tambahan dapat dilakukan untuk melengkapi kekurangan nutrisi tertentu dan meningkatkan nilai fungsional produk.

Pengaruh formulasi terhadap sifat fungsional seperti *Water Absorption Index* (WAI), *Water Solubility Index* (WSI), dan swelling power juga menjadi perhatian penting. Perubahan proporsi bahan dapat memengaruhi kemampuan produk dalam menyerap air, membentuk gel, dan mempertahankan tekstur selama penyimpanan. Oleh karena itu, evaluasi sifat fungsional menjadi bagian integral dalam proses formulasi untuk memastikan performa produk sesuai dengan tujuan pengembangan.

Dari perspektif sensoris, formulasi harus mampu menghasilkan produk dengan warna, aroma, rasa, dan tekstur yang dapat diterima oleh konsumen. Labu kuning memberikan warna alami yang menarik dan rasa manis yang khas, namun penggunaan dalam jumlah berlebih dapat memengaruhi keseimbangan rasa atau tekstur. Oleh karena itu, uji sensoris diperlukan untuk menentukan formulasi terbaik yang memenuhi preferensi konsumen sekaligus mempertahankan nilai fungsional.

Dengan demikian, formulasi produk merupakan proses multidimensional yang melibatkan pertimbangan ilmiah dan praktis secara bersamaan. Integrasi antara komposisi bahan, sifat fungsional, dan preferensi konsumen menjadi kunci dalam menghasilkan produk pangan berbasis labu kuning yang inovatif dan berkualitas. Pendekatan formulasi yang tepat akan mendukung pengembangan pangan fungsional yang tidak hanya sehat, tetapi juga memiliki daya saing tinggi di pasar modern.

9.2 Produk Olahan Labu Kuning

Pengembangan produk olahan berbasis labu kuning merupakan strategi penting dalam meningkatkan nilai tambah bahan serta memperluas aplikasinya dalam industri pangan. Produk seperti mie, cookies, beras analog, dan bubur instan menjadi pilihan yang relevan karena memiliki tingkat konsumsi tinggi dan fleksibilitas formulasi (Herlina *et al.*, 2024) (Rohmatningsih *et al.*, 2025). Integrasi labu kuning dalam produk-produk ini tidak hanya meningkatkan kandungan nutrisi, tetapi juga memberikan karakteristik sensoris yang khas, seperti warna oranye alami dan rasa manis ringan.

Pada produk mie, penggunaan tepung labu kuning sebagai substitusi parsial tepung terigu dapat meningkatkan kandungan serat dan β -karoten. Namun, karena labu kuning tidak mengandung gluten, penambahan dalam jumlah tertentu dapat memengaruhi elastisitas dan kekenyalan mie. Oleh karena itu, formulasi perlu dioptimalkan dengan mempertimbangkan proporsi bahan serta penggunaan bahan tambahan seperti pengikat atau penguat struktur. Mie berbasis labu kuning memiliki potensi sebagai produk pangan fungsional dengan nilai gizi yang lebih baik dibandingkan mie konvensional.

Pada produk cookies, labu kuning dapat digunakan dalam bentuk puree atau tepung untuk meningkatkan kandungan serat, antioksidan, dan warna alami produk. Cookies berbasis labu kuning umumnya memiliki tekstur yang lebih lembut dan warna yang lebih menarik. Selain itu, rasa manis alami dari labu kuning dapat mengurangi kebutuhan penambahan gula. Namun, formulasi harus mempertimbangkan keseimbangan kadar air dan lemak untuk menghasilkan tekstur yang renyah dan stabil selama penyimpanan.

Beras analog merupakan salah satu inovasi produk yang memanfaatkan labu kuning sebagai bahan fungsional. Produk ini biasanya dibuat melalui teknologi ekstrusi dengan kombinasi bahan seperti tepung sereal dan labu kuning. Penambahan labu kuning dapat meningkatkan kandungan serat dan senyawa bioaktif, serta memodifikasi pencernaan pati untuk menghasilkan indeks glikemik

yang lebih rendah. Beras analog berbasis labu kuning memiliki potensi sebagai alternatif pangan pokok yang lebih sehat dan sesuai untuk diet khusus.

Bubur instan merupakan produk yang sangat cocok untuk pemanfaatan labu kuning karena karakteristiknya yang mudah dicerna dan cepat disiapkan. Penggunaan labu kuning dalam bubur instan memberikan kontribusi terhadap warna, rasa, serta kandungan nutrisi. Produk ini sangat relevan untuk kelompok konsumen tertentu, seperti anak-anak, lansia, atau individu dengan kebutuhan khusus. Proses pengolahan seperti drum drying atau spray drying dapat digunakan untuk menghasilkan bubur instan dengan sifat rehidrasi yang baik.

Keempat produk tersebut menunjukkan bahwa labu kuning memiliki fleksibilitas tinggi dalam berbagai aplikasi pangan. Namun, setiap jenis produk memiliki tantangan formulasi dan proses yang berbeda, sehingga memerlukan pendekatan yang spesifik. Evaluasi terhadap sifat fisik, kimia, dan sensoris menjadi penting untuk memastikan kualitas produk. Selain itu, aspek stabilitas nutrisi dan umur simpan juga harus diperhatikan dalam pengembangan produk komersial. Berbagai macam produk olahan berbahan dasar labu kuning disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Berbagai Macam Produk Olahan Berbahan Dasar Labu Kuning

Dengan demikian, pengembangan produk olahan berbasis labu kuning seperti mie, cookies, beras analog, dan bubur instan membuka peluang besar dalam inovasi pangan fungsional. Integrasi antara nilai gizi, sifat fungsional, dan penerimaan konsumen menjadi kunci dalam keberhasilan produk di pasar. Pemanfaatan labu kuning dalam berbagai bentuk olahan tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi bahan lokal, tetapi juga berkontribusi dalam penyediaan pangan sehat yang berkelanjutan.

9.3 Evaluasi Fisik, Kimia, dan Sensoris

Evaluasi fisik, kimia, dan sensoris merupakan tahapan penting dalam pengembangan produk pangan berbasis labu kuning, karena

menentukan kualitas, keamanan, serta penerimaan produk oleh konsumen. Ketiga jenis evaluasi ini saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai karakteristik produk, mulai dari aspek struktural hingga persepsi konsumen. Dalam konteks pangan fungsional, evaluasi ini tidak hanya berfokus pada mutu dasar, tetapi juga pada potensi manfaat kesehatan yang dihasilkan.

Evaluasi fisik mencakup pengukuran parameter seperti warna, tekstur, densitas, dan sifat rehidrasi. Warna biasanya dianalisis menggunakan sistem CIELAB (L^* , a^* , dan b^*) untuk menggambarkan kecerahan dan intensitas warna, yang pada produk berbasis labu kuning berkaitan erat dengan kandungan karotenoid. Tekstur dapat diukur menggunakan alat tekstur analyzer untuk menentukan kekerasan, kekenyalan, dan parameter lainnya. Selain itu, sifat seperti daya serap air dan stabilitas struktur juga menjadi indikator penting dalam menilai performa produk selama pengolahan dan penyimpanan.

Evaluasi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi nutrisi dan kandungan senyawa bioaktif dalam produk. Analisis proksimat meliputi penentuan kadar air, abu, protein, lemak, dan karbohidrat, yang memberikan gambaran dasar nilai gizi produk. Selain itu, analisis khusus seperti kandungan β -karoten, total fenolik, dan aktivitas antioksidan dilakukan untuk menilai nilai fungsional produk. Parameter lain seperti aktivitas air (a_w) juga penting untuk menentukan stabilitas dan umur simpan produk.

Dalam evaluasi kimia, analisis pencernaan pati dan indeks glikemik juga menjadi perhatian penting, terutama untuk produk yang ditujukan sebagai pangan fungsional. Metode *in vitro* digunakan untuk menentukan fraksi pati (RDS, SDS, RS), yang memberikan informasi mengenai respon glikemik potensial. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk mengembangkan produk dengan profil pencernaan yang lebih baik dan sesuai untuk konsumen dengan kebutuhan khusus, seperti penderita diabetes.

Evaluasi sensoris merupakan tahap yang sangat penting untuk menilai penerimaan konsumen terhadap produk. Parameter yang dievaluasi meliputi warna, aroma, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Uji sensoris biasanya dilakukan menggunakan panelis, baik terlatih maupun tidak terlatih, dengan skala hedonik untuk mengukur tingkat kesukaan. Hasil evaluasi ini memberikan informasi langsung mengenai preferensi konsumen, yang sangat menentukan keberhasilan produk di pasar.

Integrasi hasil evaluasi fisik, kimia, dan sensoris memungkinkan penilaian yang komprehensif terhadap kualitas produk. Misalnya, perubahan komposisi kimia dapat memengaruhi sifat fisik dan pada akhirnya memengaruhi persepsi sensoris. Oleh karena itu, analisis yang terintegrasi sangat penting untuk memahami hubungan antara komponen bahan, proses pengolahan, dan karakteristik produk akhir. Pendekatan ini juga membantu dalam optimasi formulasi dan proses produksi.

Dengan demikian, evaluasi fisik, kimia, dan sensoris merupakan bagian integral dalam pengembangan produk pangan berbasis labu kuning. Ketiga aspek ini memberikan dasar ilmiah dan praktis untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, aman, dan diterima oleh konsumen. Pendekatan evaluasi yang sistematis dan terintegrasi akan mendukung pengembangan pangan fungsional yang inovatif, bernilai gizi tinggi, dan memiliki daya saing di pasar.

9.4 Penerimaan Konsumen

Penerimaan konsumen merupakan faktor penentu keberhasilan suatu produk pangan di pasar, termasuk produk berbasis labu kuning. Meskipun suatu produk memiliki nilai gizi dan manfaat kesehatan yang tinggi, keberhasilan komersialisasinya sangat bergantung pada sejauh mana produk tersebut dapat diterima oleh konsumen. Penerimaan ini mencakup berbagai aspek, seperti persepsi terhadap rasa, tekstur, aroma, warna, serta citra produk secara keseluruhan.

Oleh karena itu, pemahaman terhadap preferensi konsumen menjadi bagian penting dalam pengembangan pangan fungsional.

Salah satu faktor utama yang memengaruhi penerimaan konsumen adalah karakteristik sensoris produk. Rasa yang enak, tekstur yang sesuai, dan aroma yang menarik menjadi aspek yang paling diperhatikan oleh konsumen. Pada produk berbasis labu kuning, warna oranye alami dan rasa manis ringan dapat menjadi keunggulan, namun perlu diimbangi dengan formulasi yang tepat agar tidak menimbulkan rasa atau tekstur yang kurang disukai. Oleh karena itu, uji sensoris menjadi alat penting untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan karakteristik produk.

Selain aspek sensoris, faktor psikologis dan persepsi terhadap kesehatan juga memengaruhi keputusan konsumen. Produk yang diklaim sebagai pangan fungsional atau sehat cenderung memiliki daya tarik tersendiri, terutama bagi konsumen yang sadar akan pentingnya gaya hidup sehat. Labu kuning sebagai bahan alami dengan kandungan β -karoten dan serat yang tinggi dapat diposisikan sebagai bahan yang mendukung kesehatan, sehingga meningkatkan nilai persepsi produk di mata konsumen.

Faktor demografis seperti usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, dan latar belakang budaya juga berperan dalam menentukan penerimaan konsumen. Misalnya, kelompok usia muda mungkin lebih menyukai produk dengan inovasi rasa dan bentuk, sementara kelompok usia lanjut lebih memperhatikan aspek kesehatan dan kemudahan konsumsi. Oleh karena itu, segmentasi pasar menjadi penting dalam merancang produk yang sesuai dengan target konsumen tertentu.

Kemudahan penggunaan dan kepraktisan produk juga menjadi pertimbangan penting dalam penerimaan konsumen modern. Produk seperti mie instan, bubur instan, atau snack berbasis labu kuning memiliki keunggulan dalam hal kemudahan penyajian, yang sesuai dengan gaya hidup cepat saat ini. Produk yang mudah disiapkan dan

memiliki umur simpan yang panjang cenderung lebih diminati, terutama di pasar perkotaan.

Harga dan ketersediaan produk juga menjadi faktor yang tidak dapat diabaikan. Produk pangan fungsional sering kali memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan produk konvensional, sehingga perlu disesuaikan dengan daya beli konsumen. Selain itu, distribusi yang luas dan ketersediaan produk di berbagai saluran penjualan akan meningkatkan aksesibilitas dan peluang pembelian oleh konsumen.

Dengan demikian, penerimaan konsumen merupakan hasil dari interaksi berbagai faktor yang meliputi aspek sensoris, psikologis, demografis, dan ekonomi. Pengembangan produk berbasis labu kuning harus mempertimbangkan seluruh faktor tersebut untuk menghasilkan produk yang tidak hanya sehat, tetapi juga menarik dan kompetitif di pasar. Pendekatan yang berorientasi pada konsumen akan meningkatkan peluang keberhasilan produk pangan fungsional dalam memenuhi kebutuhan dan preferensi masyarakat modern.

9.5 Studi Kasus Produk

Studi kasus produk merupakan pendekatan penting untuk menggambarkan secara nyata bagaimana konsep pangan fungsional berbasis labu kuning diterapkan dalam pengembangan produk. Melalui studi kasus, hubungan antara formulasi, proses pengolahan, karakteristik produk, dan penerimaan konsumen dapat dianalisis secara terintegrasi. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih aplikatif dibandingkan teori semata, sehingga sangat relevan dalam konteks pengembangan produk berbasis penelitian.

Salah satu contoh studi kasus adalah pengembangan mie kering berbasis campuran tepung terigu, mocaf, dan tepung labu kuning. Variasi formulasi, misalnya 80:10:10 hingga 20:40:40 (terigu:mocaf:labu kuning), menunjukkan bahwa peningkatan proporsi labu kuning dapat meningkatkan kandungan β -karoten dan serat, namun juga memengaruhi tekstur dan elastisitas mie. Hasil

evaluasi menunjukkan bahwa formulasi moderat memberikan keseimbangan terbaik antara nilai gizi dan karakteristik sensoris, sehingga lebih diterima oleh konsumen.

Studi kasus lain dapat dilihat pada pengembangan cookies berbasis labu kuning, di mana puree atau tepung labu kuning digunakan sebagai substitusi sebagian tepung terigu. Produk yang dihasilkan menunjukkan peningkatan kandungan antioksidan dan warna yang lebih menarik. Namun, peningkatan kadar labu kuning juga dapat memengaruhi kerapuhan dan kadar air cookies. Oleh karena itu, optimasi formulasi diperlukan untuk mencapai tekstur yang renyah sekaligus mempertahankan nilai fungsional.

Pada produk beras analog, teknologi ekstrusi digunakan untuk mengombinasikan tepung sereal seperti sorgum dengan mocaf dan labu kuning. Studi menunjukkan bahwa penambahan labu kuning dapat meningkatkan kandungan serat dan menurunkan indeks glikemik produk. Selain itu, struktur mikro yang terbentuk selama ekstrusi memengaruhi pencernaan pati dan tekstur nasi setelah dimasak. Produk ini memiliki potensi sebagai alternatif pangan pokok yang lebih sehat, terutama bagi konsumen dengan kebutuhan diet khusus.

Studi kasus pada bubur instan menunjukkan bahwa penggunaan labu kuning dalam bentuk tepung atau flakes dapat menghasilkan produk dengan sifat rehidrasi yang baik dan kandungan nutrisi yang tinggi. Proses pengeringan seperti drum drying menghasilkan produk yang mudah larut dan memiliki tekstur halus. Evaluasi sensoris menunjukkan bahwa warna dan rasa alami labu kuning meningkatkan daya tarik produk, terutama pada segmen anak-anak dan lansia.

Analisis dari berbagai studi kasus tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan produk tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisi, tetapi juga oleh keseimbangan antara sifat fisik, kimia, dan sensoris. Interaksi antara bahan dan proses pengolahan memainkan peran penting dalam menentukan karakteristik akhir produk. Oleh karena itu, pendekatan multidisiplin yang menggabungkan ilmu pangan,

teknologi pengolahan, dan ilmu sensoris sangat diperlukan dalam pengembangan produk.

Dengan demikian, studi kasus produk memberikan gambaran nyata mengenai potensi dan tantangan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning. Hasil studi ini dapat menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam merancang produk yang inovatif dan kompetitif. Integrasi antara hasil penelitian dan aplikasi praktis akan mempercepat pengembangan produk yang tidak hanya bernilai gizi tinggi, tetapi juga memiliki peluang sukses di pasar.

BAB 10.

INOVASI, HILIRISASI, DAN PROSPEK MASA DEPAN

10.1 Tren Industri Pangan Fungsional

Industri pangan fungsional mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, didorong oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya kesehatan dan pencegahan penyakit melalui pola konsumsi. Konsumen modern tidak hanya mencari produk yang memenuhi kebutuhan dasar, tetapi juga yang mampu memberikan manfaat kesehatan tambahan. Pergeseran ini mendorong industri untuk mengembangkan produk yang berbasis sains, inovatif, dan memiliki nilai tambah yang jelas, sehingga pangan fungsional menjadi salah satu segmen yang paling dinamis dalam industri pangan global.

Salah satu tren utama dalam industri pangan fungsional adalah meningkatnya permintaan terhadap produk berbasis bahan alami dan lokal. Konsumen semakin peduli terhadap asal-usul bahan dan proses produksi, sehingga produk dengan konsep *clean label* menjadi lebih diminati. Dalam hal ini, bahan seperti labu kuning memiliki peluang besar karena dikenal sebagai sumber alami karotenoid, serat, dan senyawa bioaktif. Pemanfaatan bahan lokal juga sejalan dengan upaya keberlanjutan dan penguatan ekonomi berbasis sumber daya domestik.

Tren lain yang berkembang adalah fokus pada kesehatan metabolik, termasuk pengendalian kadar glukosa darah, manajemen berat badan, dan kesehatan jantung. Produk dengan indeks glikemik rendah, tinggi serat, dan kaya antioksidan menjadi semakin populer. Industri pangan merespons tren ini dengan mengembangkan produk yang diformulasikan secara khusus untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Labu kuning, dengan karakteristik pencernaan pati dan

kandungan bioaktifnya, dapat menjadi bahan utama dalam pengembangan produk yang mendukung kesehatan metabolik.

Selain itu, tren *plant-based food* atau pangan berbasis nabati juga semakin menguat. Konsumen mulai beralih ke produk nabati karena alasan kesehatan, lingkungan, dan etika. Produk berbasis tanaman tidak hanya dianggap lebih sehat, tetapi juga memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan produk hewani. Dalam konteks ini, labu kuning dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama atau pendukung dalam berbagai produk nabati, seperti snack, minuman, dan makanan siap saji.

Kemajuan teknologi pangan juga memainkan peran penting dalam perkembangan industri pangan fungsional. Teknologi seperti ekstrusi, enkapsulasi, dan fermentasi digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas komponen aktif dalam produk. Selain itu, teknologi digital dan analisis data memungkinkan pengembangan produk yang lebih terarah, termasuk konsep *personalized nutrition*, di mana produk dirancang sesuai dengan kebutuhan individu berdasarkan kondisi kesehatan dan gaya hidup (Arshad *et al.*, 2025).

Dari sisi pasar, industri pangan fungsional juga dipengaruhi oleh perubahan gaya hidup konsumen yang semakin praktis dan cepat. Produk siap saji atau instan yang tetap memiliki nilai gizi tinggi menjadi pilihan utama. Hal ini mendorong pengembangan produk seperti bubur instan, snack sehat, dan minuman fungsional yang mudah dikonsumsi. Produk berbasis labu kuning dapat dikembangkan dalam berbagai bentuk yang sesuai dengan kebutuhan konsumen modern tanpa mengurangi nilai fungsionalnya.

Dengan demikian, tren industri pangan fungsional menunjukkan arah yang semakin kompleks dan inovatif, dengan fokus pada kesehatan, keberlanjutan, dan teknologi. Integrasi antara bahan lokal seperti labu kuning, inovasi teknologi, dan pemahaman terhadap kebutuhan konsumen menjadi kunci dalam memenangkan persaingan pasar. Pengembangan produk yang adaptif terhadap tren ini akan memberikan peluang besar bagi industri pangan untuk menciptakan

produk yang tidak hanya bernilai ekonomi tinggi, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan yang nyata bagi masyarakat.

10.2 Peluang Komersialisasi

Peluang komersialisasi produk pangan berbasis labu kuning semakin terbuka seiring dengan meningkatnya tren konsumsi pangan fungsional di pasar global. Konsumen modern menunjukkan minat yang tinggi terhadap produk yang tidak hanya memberikan nilai gizi, tetapi juga manfaat kesehatan spesifik. Kondisi ini menciptakan ruang yang luas bagi pengembangan dan pemasaran produk berbasis labu kuning, terutama karena bahan ini memiliki citra sebagai pangan alami, sehat, dan kaya senyawa bioaktif seperti β -karoten dan serat.

Salah satu faktor yang mendukung peluang komersialisasi adalah ketersediaan bahan baku yang relatif melimpah dan mudah dibudidayakan. Labu kuning dapat tumbuh di berbagai kondisi agroekologi, sehingga pasokan bahan dapat dijaga secara berkelanjutan. Hal ini memberikan keuntungan bagi industri dalam menjaga kontinuitas produksi dan stabilitas harga. Selain itu, potensi diversifikasi produk berbasis labu kuning memungkinkan pengembangan berbagai jenis produk dengan segmentasi pasar yang berbeda.

Dari sisi produk, fleksibilitas penggunaan labu kuning dalam berbagai bentuk olahan seperti tepung, puree, dan ekstrak memberikan peluang untuk menciptakan inovasi produk yang beragam. Produk seperti mie, cookies, beras analog, dan bubur instan dapat dikembangkan dengan karakteristik fungsional yang berbeda. Inovasi ini memungkinkan pelaku industri untuk menjangkau berbagai segmen konsumen, mulai dari anak-anak hingga konsumen dengan kebutuhan diet khusus, seperti penderita diabetes atau individu yang menjalani pola hidup sehat.

Selain itu, tren *clean label* dan preferensi terhadap bahan alami memberikan keuntungan kompetitif bagi produk berbasis labu kuning.

Konsumen cenderung memilih produk dengan bahan yang mudah dikenali dan bebas dari aditif sintetis. Labu kuning, dengan warna alami dan rasa khas, dapat menggantikan fungsi bahan tambahan tertentu seperti pewarna atau pemanis buatan. Hal ini meningkatkan nilai jual produk serta memperkuat citra sebagai pangan sehat dan alami.

Peluang komersialisasi juga didukung oleh perkembangan teknologi pengolahan dan pengemasan yang memungkinkan peningkatan kualitas dan umur simpan produk. Teknologi seperti pengeringan modern, ekstrusi, dan enkapsulasi dapat digunakan untuk mempertahankan kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif. Selain itu, inovasi dalam pengemasan, seperti kemasan kedap udara dan ramah lingkungan, dapat meningkatkan daya tarik produk di pasar serta memperpanjang masa simpan.

Namun, untuk memaksimalkan peluang komersialisasi, diperlukan strategi pemasaran yang efektif dan berbasis edukasi konsumen. Informasi mengenai manfaat kesehatan produk perlu disampaikan secara jelas dan didukung oleh bukti ilmiah. Selain itu, penentuan harga yang kompetitif serta distribusi yang luas juga menjadi faktor penting dalam meningkatkan aksesibilitas produk. Kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah dapat mempercepat proses komersialisasi melalui dukungan riset, regulasi, dan promosi.

Dengan demikian, peluang komersialisasi produk berbasis labu kuning sangat menjanjikan, terutama dalam konteks pasar pangan fungsional yang terus berkembang. Integrasi antara keunggulan bahan baku, inovasi produk, teknologi pengolahan, dan strategi pemasaran akan menentukan keberhasilan produk di pasar. Pemanfaatan labu kuning secara optimal tidak hanya memberikan nilai ekonomi, tetapi juga berkontribusi dalam penyediaan pangan sehat dan berkelanjutan bagi masyarakat.

10.3 Strategi Hilirisasi Produk

Hilirisasi produk merupakan tahap penting dalam rantai inovasi pangan, yang menghubungkan hasil penelitian dan pengembangan dengan aplikasi komersial di pasar. Dalam konteks pengembangan pangan berbasis labu kuning, strategi hilirisasi bertujuan untuk mengubah potensi bahan baku dan hasil riset menjadi produk bernilai tambah yang siap diproduksi dan dipasarkan. Proses ini tidak hanya melibatkan aspek teknologi, tetapi juga mencakup manajemen produksi, pemasaran, serta kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku.

Langkah awal dalam strategi hilirisasi adalah penguatan basis riset dan pengembangan produk yang berbasis bukti ilmiah. Produk yang akan dikomersialisasikan harus memiliki keunggulan yang jelas, baik dari segi nutrisi, sifat fungsional, maupun karakteristik sensoris. Dalam hal ini, hasil penelitian mengenai komposisi, bioaktivitas, dan sifat fungsional labu kuning menjadi landasan penting. Validasi melalui uji laboratorium dan uji skala pilot diperlukan untuk memastikan bahwa produk dapat diproduksi secara konsisten dengan kualitas yang terjamin.

Tahap berikutnya adalah pengembangan proses produksi yang efisien dan skalabel. Teknologi pengolahan seperti pengeringan, ekstrusi, dan formulasi produk harus dioptimalkan agar dapat diterapkan pada skala industri. Selain itu, pemilihan peralatan, pengendalian mutu, serta efisiensi energi menjadi faktor penting dalam memastikan keberlanjutan produksi. Proses ini juga harus mempertimbangkan aspek keamanan pangan dan standar kualitas yang sesuai dengan regulasi.

Strategi hilirisasi juga mencakup pengembangan model bisnis yang tepat. Penentuan segmen pasar, strategi harga, serta saluran distribusi menjadi aspek penting dalam memastikan produk dapat diterima oleh konsumen. Produk berbasis labu kuning dapat diposisikan sebagai pangan fungsional dengan nilai kesehatan, sehingga strategi pemasaran perlu menekankan manfaat tersebut.

Selain itu, branding yang kuat dan komunikasi yang efektif akan meningkatkan daya tarik produk di pasar.

Kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan menjadi kunci dalam keberhasilan hilirisasi. Sinergi antara akademisi, industri, pemerintah, dan pelaku usaha kecil menengah dapat mempercepat proses pengembangan dan komersialisasi produk. Akademisi berperan dalam menyediakan inovasi dan data ilmiah, sementara industri bertanggung jawab dalam produksi dan distribusi. Pemerintah dapat memberikan dukungan melalui kebijakan, pendanaan, dan fasilitasi akses pasar.

Aspek regulasi dan sertifikasi juga menjadi bagian penting dalam strategi hilirisasi. Produk pangan fungsional harus memenuhi persyaratan keamanan, mutu, dan klaim kesehatan yang ditetapkan oleh lembaga pengawas. Sertifikasi seperti izin edar, label halal, dan standar mutu lainnya akan meningkatkan kepercayaan konsumen. Oleh karena itu, pemahaman terhadap regulasi sejak tahap awal pengembangan produk sangat diperlukan untuk memperlancar proses komersialisasi.

Dengan demikian, strategi hilirisasi produk berbasis labu kuning memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan multidisiplin. Penguatan riset, optimasi proses produksi, pengembangan model bisnis, serta kolaborasi lintas sektor menjadi elemen utama dalam keberhasilan hilirisasi. Melalui strategi yang tepat, potensi labu kuning sebagai bahan pangan fungsional dapat diwujudkan menjadi produk yang tidak hanya bernilai ekonomi tinggi, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan bagi masyarakat secara luas.

10.4 Tantangan dan Riset Masa Depan

Pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning menghadapi berbagai tantangan yang perlu diatasi untuk memastikan keberlanjutan dan daya saing produk di pasar. Salah satu tantangan utama adalah konsistensi kualitas bahan baku, yang dipengaruhi oleh

variasi varietas, kondisi agroekologi, dan praktik budidaya. Variabilitas ini dapat memengaruhi kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif, sehingga berdampak pada kualitas produk akhir. Oleh karena itu, diperlukan upaya standardisasi bahan baku serta pengembangan sistem budidaya yang terkontrol.

Tantangan lain yang signifikan adalah stabilitas senyawa bioaktif selama proses pengolahan dan penyimpanan. Senyawa seperti β -karoten dan fenolik rentan terhadap degradasi akibat panas, oksigen, dan cahaya. Hal ini menjadi kendala dalam mempertahankan nilai fungsional produk hingga sampai ke konsumen. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan teknologi pengolahan dan pengemasan yang mampu melindungi senyawa bioaktif tanpa mengorbankan kualitas sensoris produk.

Dari sisi teknologi, optimasi proses pengolahan seperti pengeringan dan ekstrusi masih menjadi fokus penting. Setiap metode memiliki kelebihan dan keterbatasan dalam mempertahankan kualitas nutrisi dan sifat fungsional. Oleh karena itu, riset masa depan perlu diarahkan pada pengembangan teknologi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mampu meningkatkan bioavailabilitas komponen aktif. Pendekatan berbasis teknologi canggih, seperti enkapsulasi dan modifikasi struktur bahan, juga menjadi area yang menjanjikan.

Dalam aspek kesehatan, tantangan utama adalah pembuktian ilmiah yang lebih kuat terkait manfaat konsumsi produk berbasis labu kuning. Sebagian besar penelitian masih terbatas pada studi *in vitro* atau *in vivo* pada hewan, sehingga diperlukan uji klinis pada manusia untuk memperkuat klaim kesehatan. Penelitian ini penting untuk meningkatkan kredibilitas produk serta memenuhi persyaratan regulasi yang semakin ketat di berbagai negara.

Perubahan preferensi konsumen juga menjadi tantangan dalam pengembangan produk pangan fungsional. Konsumen saat ini menginginkan produk yang tidak hanya sehat, tetapi juga praktis, terjangkau, dan memiliki cita rasa yang baik. Oleh karena itu, riset perlu mengintegrasikan aspek teknologi pangan dengan ilmu perilaku

konsumen untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan pasar. Pendekatan berbasis *consumer-driven innovation* menjadi semakin penting dalam konteks ini.

Selain itu, tantangan dalam hilirisasi dan komersialisasi juga memerlukan perhatian khusus. Keterbatasan akses terhadap teknologi, pendanaan, dan pasar dapat menghambat pengembangan produk dari skala laboratorium ke skala industri. Oleh karena itu, diperlukan dukungan kebijakan, kolaborasi lintas sektor, serta penguatan kapasitas pelaku usaha untuk mempercepat proses hilirisasi. Model kemitraan antara akademisi, industri, dan pemerintah dapat menjadi solusi dalam mengatasi hambatan ini.

Dengan demikian, tantangan yang dihadapi dalam pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning sekaligus membuka peluang untuk riset masa depan yang lebih inovatif. Fokus pada standarisasi bahan baku, stabilitas nutrisi, teknologi pengolahan, pembuktian klinis, serta pendekatan berbasis konsumen akan menjadi arah utama penelitian. Integrasi berbagai disiplin ilmu dan kolaborasi yang kuat akan memungkinkan pengembangan produk yang tidak hanya berkualitas tinggi, tetapi juga relevan dengan kebutuhan masyarakat dan perkembangan industri pangan global.

10.5 Model Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Labu Kuning

Model pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning merupakan pendekatan terintegrasi yang menghubungkan aspek bahan baku, proses, produk, hingga pasar dalam satu sistem yang berkelanjutan. Model ini menekankan bahwa keberhasilan produk tidak hanya ditentukan oleh kandungan nutrisi, tetapi juga oleh keterpaduan antara ilmu pangan, teknologi pengolahan, dan strategi komersialisasi. Dengan pendekatan sistemik, labu kuning dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan baku yang bernilai tambah tinggi dalam industri pangan modern.

Tahap awal dalam model ini adalah identifikasi dan karakterisasi bahan baku. Labu kuning harus dianalisis dari segi komposisi proksimat, kandungan bioaktif seperti β -karoten dan senyawa fenolik, serta sifat fungsionalnya. Variasi varietas dan kondisi budidaya juga perlu diperhatikan untuk memastikan konsistensi kualitas bahan. Tahap ini menjadi dasar dalam menentukan potensi aplikasi bahan dan arah pengembangan produk yang sesuai dengan kebutuhan pasar.

Tahap berikutnya adalah desain formulasi produk yang mempertimbangkan keseimbangan antara nilai gizi, sifat fungsional, dan karakteristik sensoris. Labu kuning dapat diformulasikan dalam berbagai bentuk, seperti tepung atau puree, dan dikombinasikan dengan bahan lain seperti mocaf atau sorgum. Pendekatan formulasi harus berbasis pada tujuan fungsional tertentu, misalnya peningkatan serat, penurunan indeks glikemik, atau peningkatan aktivitas antioksidan. Optimasi formulasi dilakukan melalui uji laboratorium dan evaluasi sifat fisik serta kimia.

Selanjutnya, model ini mencakup optimasi proses pengolahan yang bertujuan untuk mempertahankan kualitas nutrisi dan meningkatkan bioavailabilitas senyawa aktif. Teknologi seperti pengeringan, ekstrusi, dan enkapsulasi dapat digunakan untuk menghasilkan produk dengan stabilitas tinggi dan karakteristik yang diinginkan. Pengendalian parameter proses menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang konsisten dan sesuai dengan standar industri.

Tahap evaluasi produk merupakan bagian penting dalam model pengembangan ini. Evaluasi dilakukan secara komprehensif meliputi aspek fisik, kimia, dan sensoris. Analisis pencernaan pati, aktivitas antioksidan, serta uji penerimaan konsumen menjadi indikator keberhasilan produk. Hasil evaluasi ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan formulasi dan proses, sehingga produk dapat memenuhi standar kualitas dan preferensi konsumen.

Tahap hilirisasi dan komersialisasi merupakan langkah lanjutan yang menghubungkan produk dengan pasar. Strategi pemasaran,

penentuan harga, serta distribusi produk harus dirancang secara efektif. Selain itu, kepatuhan terhadap regulasi dan klaim kesehatan menjadi aspek penting dalam meningkatkan kepercayaan konsumen. Kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah juga diperlukan untuk mempercepat proses komersialisasi dan memperluas jangkauan pasar.

Dengan demikian, model pengembangan pangan fungsional berbasis labu kuning merupakan pendekatan yang komprehensif dan berorientasi pada keberlanjutan. Integrasi antara penelitian, teknologi, dan pasar memungkinkan pengembangan produk yang tidak hanya inovatif, tetapi juga memiliki manfaat kesehatan yang nyata. Model ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal lainnya, sehingga mendukung ketahanan pangan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuajah, C.I., Ogbonna, A.C., & Osuji, C.M. (2015). Functional components and medicinal properties of food: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2522–2529. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1396-5>
- Akram, S., Mushtaq, M., & Waheed, A. (2021). β -Carotene: Beyond provitamin A. In *A Centum of Valuable Plant Bioactives* (pp. 1–31). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822923-1.00008-X>
- Aldakhoul, M., Sleman, S., Alragheb, N., Alfarwan, M., Alallan, L., I. Shubber, Z., & Thallaj, N. (2024). Phytochemical Composition and Health Benefits of Pumpkin. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 4915–4921. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00756>
- Alqahtani, N.K. (2025). Bioactive compounds and nutritional composition of butternut pumpkins (*Cucurbita moschata*) cultivated in Saudi Arabia (*Hassawi popper*). *Journal of Future Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.08.015>
- Alqahtani, N.K. (2026). Bioactive compounds and nutritional composition of butternut pumpkins (*Cucurbita moschata*) cultivated in Saudi Arabia. *Journal of Future Foods*, 6(3), 446–459. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.08.015>
- Arshad, M.T., Ali, M.K.M., Maqsood, S., Ikram, A., Ahmed, F., Aljameel, A.I., AL-Farga, A., & Hossain, Md.S. (2025). Personalized Nutrition in the Era of Digital Health: A New Frontier for Managing Diabetes and Obesity. *Food Science & Nutrition*, 13(10). <https://doi.org/10.1002/fsn3.71006>
- Bao, C., Jiang, P., Chai, J., Jiang, Y., Li, D., Bao, W., Liu, B., Liu, B., Norde, W., & Li, Y. (2019). The delivery of sensitive food bioactive ingredients: Absorption mechanisms, influencing factors, encapsulation techniques and evaluation models. *Food Research International*, 120, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.024>
- Chowdhury, T., & Hossen, S.M.M. (2025). Phytochemicals and Biological Activities of Flowers of *Cucurbita moschata* (Pumpkin). In *Bioactive Compounds in Edible Flowers* (pp. 129–144). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003645979-7>

- Davidson, M.H., Kling, D., & Maki, K.C. (2011). Novel developments in omega-3 fatty acid-based strategies. *Current Opinion in Lipidology*, 22(6), 437–444. <https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e32834bd642>
- Dawson, M.A., Cheung, S.N., La Frano, M.R., Nagpal, R., & Berryman, C. E. (2025). Intestinal Energy Absorption Is Associated with Glycemic Variability in Young, Healthy Adults. *The Journal of Nutrition*, 155(7), 2205–2214. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.05.018>
- de Moraes, M.S., de Melo Queiroz, A.J., de Figueirêdo, R.M.F., de Matos, J.D.P., da Silva, L.P.F.R., do Nascimento Silva, S., Gregório, M.G., de Oliveira, A.P., Quirino, D.J.G., & de Andrade, R.A. (2022). Germinated pumpkin flours: Antioxidant potential, phenolic compounds, minerals, morphology, and thermal analyses. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17069>
- Demiray, E., & Tulek, Y. (2017). Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 151–156. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1147460>
- Diana, N., Slamet, A., & Kanetro, B. (2023). Sifat Fisik Kimia dan Tingkat Kesukaan Bubur Instan dengan Variasi Rasio Mocaf, Labu Kuning (*Cucurbita moschata*), dan Tempe serta Suhu Pengeringan. Proseding Seminar Nasional, Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta (Vol. 2, Number 1).
- Didinger, C., Foster, M.T., Bunning, M., & Thompson, H.. (2022). Nutrition and Human Health Benefits of Dry Beans and Other Pulses. In *Dry Beans and Pulses* (pp. 481–504). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119776802.ch19>
- Ebadi, M., Mohammadi, M., Pezeshki, A., & Jafari, S.M. (2023). Beta-Carotene. In *Handbook of Food Bioactive Ingredients* (pp. 603–628). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28109-9_51
- Emerald, M., & Rosenberg, L. (2024). Functional Foods: Safety and Toxicity. In *Drug Discovery and Evaluation: Safety and Pharmacokinetic Assays* (pp. 1399–1445). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35529-5_91
- Fernandes, J.M., Madalena, D.A., Pinheiro, A.C., & Vicente, A. A. (2020). Rice in vitro digestion: application of INFOGEST harmonized protocol for glycemic index determination and starch

- morphological study. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1393–1404. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04174-x>
- Galanakis, C.M. (Ed.). (2022). *The Age of Clean Label Foods*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96698-0>
- Gavril (Rațu), R.N., Stoica, F., Lipșa, F.D., Constantin, O.E., Stănciuc, N., Aprodu, I., & Râpeanu, G. (2024). Pumpkin and Pumpkin By-Products: A Comprehensive Overview of Phytochemicals, Extraction, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 13(17), 2694. <https://doi.org/10.3390/foods13172694>
- Ge, F., Wu, P., & Chen, X.D. (2021). Evolutions of rheology, microstructure and starch hydrolysis of pumpkin-enriched bread during simulated gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(11), 6000–6010. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15273>
- Ghosh, A.K. (2016). *Extrusion of Multicomponent Product* (pp. 109–131). https://doi.org/10.1007/978-94-017-7324-9_5
- Gil-Gaxiola, M., Caro-Hernández, O., Carrasco-Escalante, M., Iribes-Salazar, R., Vázquez-López, Y., González-Camacho, M., Gutiérrez-Dorado, R., & Caro-Corrales, J. (2026). Thermokinetic parameters of vitamin C and total carotenoids in carrot: Prediction and validation of their retention via 3D finite element modelling. *Journal of Food Engineering*, 411, 112957. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112957>
- Goyal, A.K., Garg, T., & Rath, G. (2016). Probiotics in Human Health. *Forum on Immunopathological Diseases and Therapeutics*, 7(1–2), 17–31. <https://doi.org/10.1615/ForumImmunDisTher.2016018570>
- Guimarães, J.T., Balthazar, C.F., Silva, R., Rocha, R.S., Graça, J. S., Esmerino, E.A., Silva, M.C., Sant’Ana, A.S., Duarte, M. C.K.H., Freitas, M.Q., & Cruz, A.G. (2020). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science*, 33, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>
- Hagos, M., Singh Chandravanshi, B., Redi-Abshiro, M., & Ele Yaya, E. (2023). Determination of total phenolic, total flavonoid, ascorbic acid contents and antioxidant activity of pumpkin flesh, peel and seeds. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 37(5), 1093–1108. <https://doi.org/10.4314/bcse.v37i5.3>
- Harrison, E.H., & Kopec, R.E. (2020). Enzymology of vertebrate carotenoid oxygenases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)* -

- Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11), 158653.
<https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158653>
- Herlina, Nashiroh, T.A., Palupi, N.W., Wibowo, Y., Supartiningrum, L., & Baladraf, T.T. (2024). Characteristics of Wet Noodles from Mixed Flour (Wheat and MOCAF) and Butterfly Pea Flower Powder. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 14(3), 1035–1041.
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.3.19635>
- Huang, L., Sun, Q., Li, Q., & Li, X. (2024). Screening and characterization of an anti-inflammatory pectic polysaccharide from *Cucurbita moschata* Duch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130510.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130510>
- Jaswir, I., Shahidan, N., Othman, R., Has-Yun Hashim, Y.Z., Octavianti, F., & Salleh, M.N. bin. (2014). Effects of Season and Storage Period on Accumulation of Individual Carotenoids in Pumpkin Flesh (*Cucurbita moschata*). *Journal of Oleo Science*, 63(8), 761–767. <https://doi.org/10.5650/jos.ess13186>
- Jia, Y.P., Sun, L., Yu, H.S., Liang, L.P., Li, W., Ding, H., Song, X.B., & Zhang, L.J. (2017). The Pharmacological Effects of Lutein and Zeaxanthin on Visual Disorders and Cognition Diseases. *Molecules*, 22(4), 610.
<https://doi.org/10.3390/molecules22040610>
- Keservani, R.K., & Ahire, E.D. (2023). *Applications of Functional Foods in Disease Prevention*. Apple Academic Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003395737>
- Khaliq, M., Iqbal, S., Saeed, F., Sanghvi, G., Ahmed, F., Amjad, A., Chughtai, A., Nawaz, M., Akbar, N., Panigrahi, R., Rasheed, A., Afzaal, M., & Islam, F. (2026). Determination of Glycemic Index and Glycemic Load of Indigenous Cereal Products of Pakistan. *Journal of the American Nutrition Association*, 45(1), 6–13.
<https://doi.org/10.1080/27697061.2025.2523600>
- Kim, M.Y., Kim, E.J., Kim, Y.N., Choi, C., & Lee, B.H. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 21.
<https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.21>
- Konrade, D., Kļava, D., Grāmatiņa, I., Kampuse, S., & Kince, T. (2018). Crispbreads with Carrot and Pumpkin Processing by-Products. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*.

- Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences., 72(2), 91–96.
<https://doi.org/10.2478/prolas-2018-0015>
- Krinsky, N.I., & Johnson, E.J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(6), 459–516. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001>
- Kulczyński, B., & Gramza-Michałowska, A. (2019). The Profile of Secondary Metabolites and Other Bioactive Compounds in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* Pumpkin Cultivars. *Molecules*, 24(16), 2945. <https://doi.org/10.3390/molecules24162945>
- Leichtweis, M.G., Molina, A.K., Pires, T.C.S., Dias, M.I., Calhelha, R., Bachari, K., Ziani, B.E.C., Oliveira, M.B.P. P., Pereira, C., & Barros, L. (2022). Biological Activity of Pumpkin Byproducts: Antimicrobial and Antioxidant Properties. *Molecules*, 27(23), 8366. <https://doi.org/10.3390/molecules27238366>
- Liu, D., Zhong, Z., & Karin, M. (2022). NF-κB: A Double-Edged Sword Controlling Inflammation. *Biomedicines*, 10(6), 1250. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10061250>
- Ma, D., Han, P., Song, M., Zhang, H., Shen, W., Huang, G., Zhao, M., Sun, Q., Zhao, Y., & Min, L. (2021). β-carotene Rescues Busulfan Disrupted Spermatogenesis Through Elevation in Testicular Antioxidant Capability. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.593953>
- Mashiane, P., Mashitoa, F.M., Slabbert, R.M., & Sivakumar, D. (2021). Impact of household cooking techniques on colour, antioxidant and sensory properties of African pumpkin and pumpkin leaves. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100307>
- Matić, M., Stupar, A., Kebert, M., Kiproviski, B., & Brdar-Jokanović, M. (2026). The role of carotenoids in preventing oxidative stress: Exploring the antioxidant potential of pumpkin as a functional crop. *Food and Feed Research*, 53(1), 79–91. <https://doi.org/10.5937/ffr0-56562>
- Men, X., Choi, S. Il, Han, X., Kwon, H. Y., Jang, G. W., Choi, Y. E., Park, S. M., & Lee, O. H. (2021). Physicochemical, nutritional and functional properties of *Cucurbita moschata*. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 30, Number 2, pp. 171–183). The Korean Society of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00835-2>

- Miljic, M., Vlaisavljevic Krstic, S., Nacka-Aleksic, M., Jovanovic, A., Dekanski, D., Stankovic, J.A., Bozic, D.D., Krivokuca, M. J., Bojic-Trbojevic, Z., & Pirkovic, A. (2025). Biological activity of pumpkin pulp extracts: cytoprotection, anti-inflammatory effects, and photoprotection in human skin cells. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 44(4), 508–521. <https://doi.org/10.1080/15569527.2025.2570195>
- Mittal, R.K., Mishra, R., Sharma, V., & Purohit, P. (2024). Bioactive Exploration in Functional Foods: Unlocking Nature’s Treasures. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 25(11), 1419–1435. <https://doi.org/10.2174/0113892010282580231120041659>
- Monjed, A. (2021). Diabetes and Rheumatology. In *Skills in Rheumatology* (pp. 445–460). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8323-0_21
- Mukherjee, B., Al Hoque, A., Hota, S.H., Gope, S., Ray, M., Barman, M., Bhattacharya, S., Chakraborty, S., & Das, L. (2025). Antioxidants and Their Physiological Role in Free Radical Scavenging. In *Dietary Supplements and Nutraceuticals* (pp. 397–440). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-8622-3_12
- Negi, P., Agarwal, S., Garg, P., Ali, A., & Kulshrestha, S. (2023). In vivo models of understanding inflammation (*in vivo* methods for inflammation). In *Recent Developments in Anti-Inflammatory Therapy* (pp. 315–330). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99988-5.00017-6>
- Pastoriza, S., Delgado-Andrade, C., Haro, A., & Rufián-Henares, J. A. (2011). A physiologic approach to test the global antioxidant response of foods. The GAR method. *Food Chemistry*, 129(4), 1926–1932. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.009>
- Pawase, P.A., Haldia, S., Bashir, O., Pathare, A.M., Shams, R., Dash, K.K., Ingale, O.S., Mukarram, A.S., & Kovács, B. (2025). Antidiabetic properties of *Cucurbita pepo* L. (pumpkin), *Linum usitatissimum* L. (flaxseed), and *Avena sativa* L. (oat): A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102035. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102035>
- Pinna, N., Ben Abbou, S., Ianni, F., Angeles Flores, G., Pietercelie, A., Perretti, G., Blasi, F., Angelini, P., & Cossignani, L. (2024). Phenolic compounds from pumpkin pulp: Extraction optimization and biological properties. *Food Chemistry: X*, 23, 101628. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101628>

- Prakash, J., & Kumari, U. (2025). Personalized Nutrition. In *Exploring the Science of Food as Medicine* (pp. 123–146). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1439-6.ch005>
- Prakash, S., Gaiani, C., & Bhandari, B.R. (2023). Plant-based food as a sustainable source of food for the future. In *Engineering Plant-Based Food Systems* (pp. 1–12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89842-3.00005-1>
- Qiu, C., Hu, H., Chen, B., Lin, Q., Ji, H., & Jin, Z. (2024). Research Progress on the Physicochemical Properties of Starch-Based Foods by Extrusion Processing. *Foods*, 13(22), 3677. <https://doi.org/10.3390/foods13223677>
- Rajamma, S.S., Krishnaswami, V., & Kandasamy, R. (2022). Functional Role of Prebiotic Supplement in Brain Signalling. In *Microbiome-Gut-Brain Axis* (pp. 215–236). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1626-6_9
- Rodionova, L.Y., Sobol, I.V.V., Donchenko, L.V., Stepovoy, A. V., & Koshchayev, A.G. (2022). Biochemical Evaluation of Pumpkin Varieties. *Sarhad Journal of Agriculture*, 38(3). <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2022/38.3.1026.1034>
- Rodríguez-Negrete, E.V., Morales-González, Á., Madrigal-Santillán, E.O., Sánchez-Reyes, K., Álvarez-González, I., Madrigal-Bujaidar, E., Valadez-Vega, C., Chamorro-Cevallos, G., Garcia-Melo, L.F., & Morales-González, J.A. (2024). Phytochemicals and Their Usefulness in the Maintenance of Health. *Plants*, 13(4), 523. <https://doi.org/10.3390/plants13040523>
- Rohmatningsih, R.N., Slamet, A., & Kanetro, B. (2025). Characteristics of Mocaf cookies with the Addition of *Mucuna pruriens* and *Cucurbita moschata* as a Healthy cookies Alternative. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1476(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1476/1/012016>
- Saini, R.K., & Keum, Y.S. (2018). Significance of Genetic, Environmental, and Pre and Postharvest Factors Affecting Carotenoid Contents in Crops: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5310–5324. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01613>
- Sajovic, J., Meglič, A., Glavač, D., Markelj, Š., Hawlina, M., & Fakin, A. (2022). The Role of Vitamin A in Retinal Diseases.

- International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1014.
<https://doi.org/10.3390/ijms23031014>
- Salgado-Ordosgoitia, R.D., Rodríguez-Manrique, J.A., Cohen-Manrique, C.S., & Mendoza-Ortega, G.P. (2018). Characterization of the techno-functional properties of starch from Purple yam (*Dioscorea alata*), Hawthorn yam (*Dioscorea rotundata*) and Diamante 22-type yam. *DYNA*, 85(207), 143–152. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.72869>
- Sato, S., Chinda, D., Shimoyama, T., Iino, C., Kudo, S., Sawada, K., Mikami, T., Nakaji, S., Sakuraba, H., & Fukuda, S. (2022). A Cohort Study of the Effects of Daily-Diet Water-Soluble Dietary Fiber on Butyric Acid-Producing Gut Microbiota in Middle-Aged and Older Adults in a Rural Region. *Microorganisms*, 10(9), 1813. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091813>
- Shah, S.T., Chowdhury, Z.Z., Simarani, K., Basirun, W.J., Badruddin, I.A., Hussien, M., Alrobei, H., & Kamangar, S. (2022). Nanoantioxidants: The Fourth Generation of Antioxidants—Recent Research Roadmap and Future Perspectives. *Coatings*, 12(10), 1568. <https://doi.org/10.3390/coatings12101568>
- Shajan, A.E., Dash, K.K., Hamid, Bashir, O., & Shams, R. (2024). Comprehensive comparative insights on physico-chemical characteristics, bioactive components, and therapeutic potential of pumpkin fruit. *Future Foods*, 9, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100312>
- Slamet, A., Kanetro, B., & Purwaningsih, H. (2025). Physicochemical and sensory evaluation of pumpkin-based instant porridge with mocaf and cowpea flour. *Scifood*, 19, 96–09. <https://doi.org/10.5219/scifood.8>
- Slamet, A., Kanetro, B., & Purwaningsih, H. (2026). Physicochemical properties, antioxidant activities, beta-carotene content, and sensory properties of gluten-free pumpkin-fortified egg roll. *Food Research*, 10(1), 188. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.10\(1\).047](https://doi.org/10.26656/fr.2017.10(1).047)
- Slamet, A., Kanetro, B., & Setiyoko, A. (2022). The hypoglycemic and regenerative effect of the pancreas using instant porridge mix of pumpkin and brown rice flour on diabetic rats. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 16, 92–100. <https://doi.org/10.5219/1705>
- Slamet, A., Praseptianga, D., Hartanto, R., & Samanhudi. (2020). Moisture sorption isotherm and shelf life of pumpkin and

- arrowroot starch-based instant porridge. *AIP Conference Proceedings*, 2219. <https://doi.org/10.1063/5.0003102>
- Slamet, A., Praseptianga, D., Rofandi, H., & Samanhudi. (2019). Physicochemical and Sensory Properties of Pumpkin (*Cucurbita moschata* D) and Arrowroot (*Marantha arundinaceae* L) Starch-based Instant Porridge. 9(2). <https://doi.org/http://doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.7909>
- Theanjumol, P., & Maniwara, P. (2022). Physico-chemical and cooking qualities of fresh and stored pumpkins. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 63(1), 101–113. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00385-4>
- Tlili, I., Rouhou, H.C., Ilahy, R., Jedidi, E., Bouhlel, R., Romdhane, L., Ghannem, S., Lenucci, M. S., Siddiqui, M. W., R'him, T., & Hdider, C. (2020). Pumpkin. In *Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits* (pp. 105–126). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2_5
- Toivonen, P.M.A. (2010). Postharvest Physiology of Vegetables. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 199–217). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470958346.ch9>
- Tonapi, V.A., Talwar, H.S., Are, A.K., Bhat, B.V., Reddy, Ch. R., & Dalton, T.J. (Eds.). (2020). *Sorghum in the 21st Century: Food – Fodder – Feed – Fuel for a Rapidly Changing World*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8249-3>
- Toy, J.Y.H., Yu, L.L., & Huang, D. (2025). Functional Foods for Health: Evidence and Insights. In *Evidence-based Nutraceuticals and Functional Foods* (pp. 1–15). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781837674046-00001>
- Tricoli, D.M., Staub, J.E., Kabelka, E.A., Wang, Y., & Quemada, H.D. (2008). *Cucurbits*. In *Compendium of Transgenic Crop Plants* (pp. 145–184). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781405181099.k0607>
- Valdez-Arjona, L.P., & Ramírez-Mella, M. (2019). Pumpkin Waste as Livestock Feed: Impact on Nutrition and Animal Health and on Quality of Meat, Milk, and Egg. *Animals*, 9(10), 769. <https://doi.org/10.3390/ani9100769>
- Verhagen, H., & van Loveren, H. (2016). Status of nutrition and health claims in Europe by mid 2015. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.005>

- Yahfoufi, N., Alsadi, N., Jambi, M., & Matar, C. (2018). The Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Role of Polyphenols. *Nutrients*, 10(11), 1618. <https://doi.org/10.3390/nu10111618>
- Yan, F., Wang, X., Du, Y., Zhao, Z., Shi, L., Cao, T., Shen, Y., Sun, L., & Liu, X. (2025). Pumpkin Soluble Dietary Fiber instead of Insoluble One Ameliorates Hyperglycemia via the Gut Microbiota–Gut–Liver Axis in db/db Mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(2), 1293–1307. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c08986>
- Yuan, X., Zhong, M., Huang, X., Hussain, Z., Ren, M., & Xie, X. (2024). Industrial Production of Functional Foods for Human Health and Sustainability. *Foods*, 13(22), 3546. <https://doi.org/10.3390/foods13223546>
- Zafar, M.I., Mills, K.E., Zheng, J., Regmi, A., Hu, S. Q., Gou, L., & Chen, L.L. (2019). Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110(4), 891–902. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz149>
- Zahra, N., Nisa, A., Hina, S., Masood, S., Kalim, I., Saeed, M.K., Ahmad, I., & Arshad, M. (2020). Exploration of Locally Grown Yellow and Green Pumpkin as a Potential Source of b-Carotene and Vitamin A. *Biological Sciences - PJSIR*, 63(3), 238–241. <https://doi.org/10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.63.3.2020.238.241>

TENTANG PENULIS

Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE lahir di Sleman, 24 Juli 1971, merupakan dosen dan peneliti di bidang Ilmu dan Teknologi Pangan dengan fokus keahlian pada pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal, khususnya labu kuning (*Cucurbita moschata*). Beliau berafiliasi dengan Universitas Mercu Buana Yogyakarta (UMBY) dan aktif dalam kegiatan pendidikan, penelitian, serta pengabdian kepada masyarakat.

Penulis mengawali karier akademik sebagai dosen sejak tahun 1996 di Universitas Wangsa Manggala Yogyakarta, yang kini telah berkembang menjadi Universitas Mercu Buana Yogyakarta, dan terus mengabdikan diri hingga saat ini. Dalam perjalanan akademiknya, penulis telah mengemban berbagai jabatan strategis, antara lain sebagai Pembantu Dekan III, Kepala Bagian Kemahasiswaan dan Alumni, Kepala Biro Kemahasiswaan dan Alumni, Ketua Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, serta Dekan Fakultas Agroindustri. Saat ini, penulis menjabat sebagai Rektor Universitas Mercu Buana Yogyakarta untuk masa bakti 2021–2025 dan 2025–2029.

Pendidikan sarjana (S1) ditempuh pada Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Wangsa Manggala Yogyakarta (sekarang Universitas Mercu Buana Yogyakarta) dengan dukungan beasiswa dari Yayasan Wangsa Manggala. Selanjutnya, penulis melanjutkan studi magister (S2) pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Gadjah Mada melalui Beasiswa Program Pascasarjana Kementerian Pendidikan Nasional. Pendidikan doktor (S3) diselesaikan pada Program Studi Ilmu Pertanian dengan minat Ilmu Pangan dengan dukungan beasiswa dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui skema Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri (LPDP-BUDI DN). Selain itu, penulis juga menyelesaikan pendidikan Profesi Insinyur di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sebagai bagian dari penguatan kompetensi profesional.

Minat penelitian terhadap labu kuning telah dimulai sejak tahun 1999 pada masa studi magister (S2), kemudian dikembangkan lebih lanjut pada jenjang doktoral (S3), dan terus berlanjut hingga saat ini secara konsisten. Fokus penelitian meliputi komposisi kimia, senyawa bioaktif, sifat fungsional, hubungan struktur–fungsi, pencernaan pati, indeks glikemik, serta pengembangan produk inovatif berbasis bahan lokal.

Sebagai peneliti aktif, penulis telah menghasilkan lebih dari 45 publikasi ilmiah yang terkait dengan pengolahan dan pengembangan produk berbasis labu kuning, baik pada jurnal internasional bereputasi, jurnal nasional terakreditasi, maupun prosiding seminar ilmiah. Publikasi tersebut mencerminkan kontribusi berkelanjutan dalam pengembangan ilmu pangan serta inovasi berbasis potensi lokal.

Penulis juga memperoleh dukungan pendanaan penelitian dari Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, serta dukungan pembiayaan studi lanjut dan penelitian dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP). Dukungan ini berperan penting dalam memperkuat kapasitas akademik dan keberlanjutan riset yang berorientasi pada pengembangan pangan fungsional.

Selain aktif dalam publikasi ilmiah, penulis juga telah menghasilkan karya buku, di antaranya “Kewirausahaan Sosial” dan “Pengantar Agroindustri”, yang berkontribusi dalam pengembangan literatur akademik di bidang agroindustri dan kewirausahaan berbasis pangan.

Dalam kegiatan akademik, penulis aktif membimbing mahasiswa dalam berbagai topik penelitian, khususnya terkait inovasi produk pangan dan pemanfaatan bahan lokal. Kolaborasi antara dosen dan mahasiswa telah menghasilkan berbagai inovasi produk berbasis labu kuning yang memiliki nilai ilmiah, fungsional, serta potensi komersial.

Melalui buku ini, penulis mengintegrasikan hasil penelitian, pengalaman akademik, serta kepemimpinan dalam pengembangan

institusi pendidikan tinggi ke dalam satu referensi yang komprehensif. Diharapkan kontribusi ini dapat mendukung pengembangan ilmu pangan, industri pangan nasional, serta pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan.

Buku “Produk Pangan Fungsional Berbasis Labu Kuning: Dari Senyawa Bioaktif Hingga Inovasi Produk” membahas secara komprehensif potensi labu kuning sebagai bahan pangan lokal yang memiliki nilai gizi tinggi dan manfaat kesehatan yang signifikan. Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pola konsumsi sehat, pangan tidak lagi hanya dipandang sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai komponen penting dalam pencegahan berbagai penyakit.

Melalui pendekatan ilmiah yang sistematis, buku ini mengulas berbagai aspek penting, mulai dari karakteristik botani dan komposisi kimia labu kuning, kandungan senyawa bioaktif seperti β -karoten dan fenolik, hingga aktivitas fisiologisnya dalam mendukung kesehatan tubuh. Selain itu, buku ini juga membahas konsep pangan fungsional, mekanisme kerja komponen bioaktif, serta perannya dalam pencegahan penyakit degeneratif.

Tidak hanya bersifat teoritis, buku ini juga mengintegrasikan aspek teknologi pangan melalui pembahasan proses pengolahan, stabilitas nutrisi, serta pengembangan berbagai produk inovatif berbasis labu kuning, seperti mie, cookies, dan produk olahan lainnya. Pendekatan ini memberikan gambaran nyata mengenai peluang hilirisasi dan pengembangan industri pangan berbasis sumber daya lokal.

PRODUK PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS LABU KUNING

DARI SENYAWA BIOAKTIF HINGGA INOVASI PRODUK

Dr. Ir. Agus Slamet, S.TP., M.P., MCE



BIMA UTAMA
P R E S S

Anggota IKAPI : 392/JTI/2023

Penerbit Bima Utama Press
Surabaya - Jawa Timur, 60296
Telp: 081335745874
www.bimautama.net

ISBN 978-634-7672-43-8



9

786347

672438