

Editor: Dr. Ratna Puspita, S.Si., M.Si.



Inovasi Pangan Sehat

**Berbasis
Sumber
Daya Lokal**



Citra Pratiwi Prayitno, Cindy Paloma, Desy Muliana Wenas
Samuel Hadjo, Syahmidarni Al Islamiyah, Dahlia Elianarni
Sakinah Ahyani Dahlan, Muhammad Daud, Afifa Husna
Hanif Alamudin Manshur, Purnama Ningsih S. Maspeke
Yermia, Fitrah Adelina, Widyaningrum, Rahmiyati Kasim
Ike Susanti, Sitti Khadijah Yahya Hiola, Ayu Diawi Ismayawati
Indah Pratiwi, Desri Yesi

Inovasi Pangan Sehat

Berbasis
Sumber
Daya Lokal



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal

Citra Pratiwi Prayitno, Cindy Paloma, Desy Muliana Wenas
Samuel Hadjo, Syahmidarni Al Islamiyah, Dahlia Elianarni
Sakinah Ahyani Dahlan, Muhammad Daud, Afifa Husna
Hanif Alamudin Manshur, Purnama Ningsih S. Maspeke
Yermia, Fitrah Adelina, Widyaningrum, Rahmiyati Kasim
Ike Susanti, Sitti Khadijah Yahya Hiola, Ayu Diawi Ismayawati
Indah Pratiwi, Desri Yesi



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2026

Penulis:

Citra Pratiwi Prayitno, Cindy Paloma, Desy Muliana Wenas
Samuel Hadjo, Syahmidarni Al Islamiyah, Dahlia Elianarni
Sakinah Ahyani Dahlan, Muhammad Daud, Afifa Husna
Hanif Alamudin Manshur, Purnama Ningsih S. Maspeke
Yermia, Fitrah Adelina, Widyaningrum, Rahmiyati Kasim
Ike Susanti, Sitti Khadijah Yahya Hiola, Ayu Diawi Ismayawati
Indah Pratiwi, Desri Yesi

Editor: Dr. Ratna Puspita, S.Si., M.Si.

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0813-9680-7167

IKAPI: 044/SUT/2021

Citra Pratiwi Prayitno., dkk.

Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal

Yayasan Kita Menulis, 2026

xviii; 364 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-634-260-208-9

Cetakan 1, Maret 2026

I. Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal

II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa

Izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku yang berjudul “Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai kontribusi akademik dalam memperkaya literatur mengenai pengembangan pangan sehat yang memanfaatkan potensi sumber daya lokal Indonesia secara optimal.

Di tengah berbagai tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, keterbatasan sumber daya air, serta meningkatnya permasalahan gizi dan kesehatan masyarakat, sistem pangan dunia dituntut untuk menjadi lebih tangguh, berkelanjutan, dan inovatif. Dalam konteks tersebut, pemanfaatan sumber daya pangan lokal memiliki peran yang sangat penting, tidak hanya untuk mendukung ketahanan pangan nasional tetapi juga untuk meningkatkan nilai tambah ekonomi, kesehatan masyarakat, serta keberlanjutan lingkungan.

Buku ini membahas berbagai aspek penting terkait inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal, mulai dari konsep dasar pangan sehat, dinamika sistem pangan dan ketahanan nasional, hingga konsep pangan fungsional yang berkaitan dengan kesehatan masyarakat. Selain itu, buku ini juga mengulas potensi berbagai bahan pangan lokal seperti umbi-umbian, sereal lokal, buah dan sayuran, serta pemanfaatan limbah dan hasil samping pertanian sebagai bahan baku inovasi pangan bernilai tambah. Pembahasan juga mencakup kandungan fitokimia dan senyawa bioaktif dalam pangan, peran antioksidan, serat, dan prebiotik alami, serta kontribusi pangan lokal dalam pencegahan penyakit degeneratif. Selanjutnya, buku ini turut membahas berbagai teknologi pengolahan pangan sehat, termasuk teknologi pengolahan sederhana, fermentasi, pengeringan, ekstraksi, teknologi pengemasan, hingga aspek keamanan pangan pada produksi skala kecil. Di bagian akhir, buku ini juga menguraikan tahapan perancangan produk pangan sehat berbasis lokal, metode pengujian mutu dan penerimaan konsumen, serta contoh

pengembangan produk inovatif yang berpotensi menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat desa.

Penulis berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, akademisi, peneliti, praktisi industri pangan, pelaku UMKM, serta berbagai pihak yang memiliki perhatian terhadap pengembangan inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal di Indonesia.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan buku ini.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, inovasi teknologi pangan, serta mendorong pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan untuk meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat.

Februari 2026
Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii

Bab 1 Pengantar Pangan Sehat dan Tantangan Global

1.1 Konsep Pangan Sehat dalam Perspektif Ilmu Pangan	1
1.2 Dinamika Sistem Pangan Global	5
1.3 Tantangan Global dalam Produksi dan Pengolahan Pangan.....	6
1.3.1 Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi dan Kualitas Pangan	6
1.3.2 Degradasi Lahan dan Dampaknya terhadap Produktivitas Pertanian ...	7
1.3.3 Keterbatasan Sumber Daya Air	7
1.3.4 Fenomena Food Lost and Waste	8
1.4 Pangan Lokal sebagai Sumber Inovasi Pangan Sehat	8

Bab 2 Sistem Pangan Indonesia dan Ketahanan Nasional

2.1 Kerangka Sistem Pangan dan Ketahanan Nasional	11
2.2 Struktur dan Karakteristik Sistem Pangan Indonesia.....	14
2.3 Dinamika dan Kerentanan Sistem Pangan Nasional	17
2.4 Tata Kelola dan Manajemen Risiko Sistem Pangan dalam Mendukung Ketahanan Nasional.....	20

Bab 3 Konsep Pangan Fungsional dan Kesehatan Masyarakat

3.1 Pendahuluan	25
3.2 Definisi dan Ciri Pangan Fungsional	28
3.2.1 Perbedaan Terminologi.....	28
3.2.2 Kriteria Utama	29
3.2.3 Klasifikasi.....	29
3.3 Senyawa Bioaktif dalam Pangan Fungsional.....	29
3.3.1 Senyawa Fitokimia	30
3.3.2 Jenis Senyawa Fitokimia Utama	30
3.3.3 Probiotik, Prebiotik, Sinbiotik	31
3.3.4 Asam Lemak Esensial	31
3.3.5 Mekanisme Seluler	32

3.4 Pangan Fungsional dalam Perspektif Kesehatan Masyarakat.....	32
3.4.1 Pencegahan Penyakit Kronis	32
3.4.2 Pangan Fungsional Lokal.....	33
3.4.3 Ketahanan Pangan dan Gizi.....	33
3.5 Aspek Regulasi, Keamanan dan Labeling.....	33
3.6 Izin Edar dan Sertifikasi Wajib.....	36
3.6.1 Keamanan Pangan Fungsional	36
3.6.2 Labeling dan Klaim	36

Bab 4 Peran Inovasi dalam Transformasi Pangan

4.1 Pemanfaatan Bahan Pangan Lokal sebagai Bahan Baku Inovatif.....	39
4.2 Teknologi Pengolahan Pangan Sederhana dan Ramah Lingkungan.....	42
4.3 Pemasaran Berbasis Inovasi: Dari Desa ke Dunia	44
4.4 Inovasi Berkelanjutan dan Respons terhadap Perubahan Iklim.....	47
4.5 Partisipasi Perempuan dan Masyarakat Lokal dalam Riset Inovasi Pangan	50

Bab 5 Umbi, Sereal Lokal, dan Tanaman Pangan Alternatif

5.1 Pendahuluan	53
5.2 Potensi Umbi-umbian sebagai Pangan Fungsional	54
5.2.1 Kandungan Gizi dan Indeks Glikemik.....	54
5.2.2 Inovasi Olahan Umbi-Umbian	55
5.2.3 Fortifikasi Pangan Berbasis Umbi-Umbian.....	57
5.3 Sereal Lokal	57
5.3.1 Karakteristik Nutrisi dan Sifat Gluten-free.....	58
5.3.2 Aplikasi dalam produk pangan fungsional	58
5.3.3 Studi Kasus: Pengembangan Produk Berbasis Sorgum	59
5.4 Tanaman Pangan Alternatif: Quinoa Lokal, Kela, dan Gembili.....	60
5.4.1 Quinoa Lokal: Superfood	61
5.4.2 Kela (<i>Pachyrhizus erosus</i>): Sumber Protein dan Serat Fungsional....	61
5.4.3 Gembili: Umbi Pangan Tradisional dengan Potensi Modern	62
5.4.4 Pengembangan Tanaman Pangan Alternatif	62
5.5 Teknologi Pengolahan untuk Meningkatkan Kualitas Pangan	63
5.5.1 Fermentasi	64
5.5.2 Fortifikasi	65
5.5.3 Pengolahan Non-Termal	66
5.5.4 Peningkatan Bioavailabilitas Nutrisi	67
5.5.5 Minimasi Limbah dan Pemanfaatan Bagian Tanaman secara Utuh.....	68

Bab 6 Buah dan Sayuran Lokal Sebagai Sumber Bioaktif

6.1 Pengertian Buah dan Sayur	71
6.2 Jenis dan karakter Sayur dan Buah Lokal.....	73
6.3 Komponen Bioaktif Buah dan Sayur	76

Bab 7 Limbah dan Hasil Samping Pertanian Bernilai Tambah

7.1 Konsep dan Klasifikasi Limbah dan Hasil Samping Pertanian	83
7.2 Teknologi Pengolahan Limbah dan Hasil Samping Pertanian	86
7.2.1 Teknologi Fisik (Pengeringan, Pengecilan Ukuran, dan Ekstraksi).....	87
7.2.2 Teknologi Kimia dan Biokimia (Fermentasi dan Hidrolisis Enzimatis)..	88
7.3 Aplikasi Produk Turunan Limbah dan Hasil Samping Pertanian Bernilai Tambah	89

Bab 8 Fitokimia dan Senyawa Bioaktif Pangan

8.1 Konsep Fitokimia dalam Pangan Fungsional	95
8.2 Klasifikasi Senyawa Fitokimia.....	98
8.2.1 Senyawa Fenolik.....	99
8.2.2 Karotenoid.....	100
8.2.3 Alkaloid.....	101
8.2.4 Saponin.....	102
8.2.5 Glukosinolat.....	103
8.3 Senyawa Bioaktif dari Sumber Daya Lokal Indonesia	104
8.4 Mekanisme Kerja Senyawa Bioaktif dalam Tubuh	106
8.5 Pengaruh Pengolahan terhadap Kandungan Fitokimia.....	108

Bab 9 Antioksidan, Serat, dan Prebiotik Alami

9.1 Pendahuluan.....	111
9.2 Antioksidan Alami dalam Pangan Lokal.....	113
9.3 Serat Pangan dan Kesehatan.....	117
9.4 Prebiotik Alami dan Kesehatan Mikrobiota Usus.....	121

Bab 10 Pangan Lokal dan Pencegahan Penyakit Degeneratif

10.1 Penyakit Degeneratif di Indonesia	125
10.2 Potensi Pangan Lokal dalam Pencegahan Penyakit Degeneratif.....	127
10.2.1 Tempe.....	129
10.2.2 Dadih	131
10.2.3 TAPE.....	132
10.2.4 Beras Hitam.....	133
10.2.5 Ubi Jalar (Ipomoea batatas)	134

10.2.6 Singkong (<i>Manihot esculenta</i>).....	134
10.2.7 Talas (<i>Colocasia esculenta</i>).....	135
10.2.8 Sukun (<i>Artocarpus altilis</i>)	135
10.2.9 Kelor (<i>Moringa oleifera</i> L.)	136
10.2.10 Bunga Telang (<i>Clitoria ternatea</i>).....	136

Bab 11 Stabilitas Komponen Bioaktif selama Pengolahan

11.1 Peran Komponen Bioaktif	139
11.2 Stabilitas Komponen Bioaktif selama pengolahan	142
11.2.1 Vitamin C	142
11.2.2 Polifenol & Flavonoid	145
11.2.3 Antosianin	147
11.2.4 Karotenoid.....	149
11.2.5 Senyawa Rempah (Kurkuminoid, Gingerol) & Senyawa Sulfur (Bawang)	151
11.2.6 Senyawa Volatil/Aroma Fungsional	153

Bab 12 Teknologi Sederhana Pengolahan Pangan Sehat

12.1 Pendahuluan.....	157
12.1.1 Tantangan Global dalam Pengolahan Pangan Sehat	158
12.1.2 Arah Baru Pengolahan Pangan Sehat	158
12.2 Konsep Dasar Teknologi Non-Termal dalam Pengolahan Pangan Sehat ...	159
12.2.1 Kategorisasi Teknologi Non-Termal	159
12.2.2 Keunggulan Teknologi Non-Termal.....	160
12.2.3 Dampak Lingkungan dan Keberlanjutan.....	161
12.3 Mekanisme Aksi Teknologi Non-Termal	162
12.3.1 Prinsip Dasar Inaktivasi Mikroba.....	162
12.3.2 Teknologi Spesifik dan Aplikasinya	162
12.3.3 Retensi Nutrisi dan Kualitas Sensorik.....	163
12.4 Teknologi Hurdle: Pendekatan Kombinasi dalam Pengolahan Pangan Sehat.....	164
12.4.1 Konsep dan Prinsip Dasar Teknologi Hurdle.....	164
12.4.2 Sinergisme dalam Kombinasi Teknologi	165
12.4.3 Aplikasi Teknologi Hurdle pada Buah dan Sayuran	166
12.5 Teknologi Plasma Dingin: Inovasi Terkini Pengolahan Pangan Sehat	167
12.5.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme Aksi Plasma Dingin	167
12.5.2 Aplikasi Plasma Dingin dalam Pengolahan Pangan.....	168
12.5.3 Tantangan Implementasi dan Arah Pengembangan	169
12.5.4 Aspek Keamanan dan Regulasi Plasma Dingin.....	170

12.6 Prospek Masa Depan Teknologi Pengolahan Pangan Sehat.....	170
12.6.1 Integrasi Teknologi untuk Keberlanjutan	170
12.6.2 Arah Penelitian Masa Depan	171
12.6.3 Prospek Komersialisasi dan Adopsi Industri.....	172

Bab 13 Fermentasi sebagai Strategi Peningkatan Nilai Gizi

13.1 Fermentasi dan Perannya dalam Pangan	173
13.2 Fermentasi dan Peningkatan Nilai Gizi	176
13.3 Prospek Fermentasi pada Pangan Lokal.....	179

Bab 14 Pengeringan, Ekstraksi dan Inovasi Skala UMKM

14.1 Pendahuluan	185
14.2 Konsep Dasar Pengeringan.....	186
14.2.1 Definisi dan Tujuan	186
14.2.2 Prinsip Perpindahan Panas dan Massa.....	187
14.2.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Laju Pengeringan	189
14.2.4 Tahapan Laju Pengeringan	191
14.2.5 Metode Pengeringan yang Umum Digunakan Pada Skala UMKM... ..	192
14.2.6 Keterkaitan Pengeringan dengan Stabilitas Senyawa Bioaktif ..	194
14.3 Konsep Dasar Ekstraksi	196
14.3.1 Definisi dan Tujuan	196
14.3.2 Prinsip Dasar Proses Ekstraksi	197
14.3.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Ekstraksi	198
14.3.4 Metode Ekstraksi yang Umum Digunakan pada Skala UMKM	200
14.4 Integrasi Pengeringan dan Ekstraksi dalam Inovasi Produk Pangan Sehat.....	202

Bab 15 Teknologi Pengemasan

15.1 Pendahuluan.....	205
15.2 Fungsi dan Prinsip Dasar Pengemasan	209
15.3 Jenis dan Klasifikasi Bahan Kemasan	212
15.3.1 Jenis Kemasan berdasarkan Struktur Fungsionalnya.....	212
15.3.2 Jenis Kemasan Berdasarkan Tujuannya	213
15.3.3 Jenis kemasan berdasarkan jenis bahan penyusunnya	214
15.4 Faktor Faktor yang memengaruhi Pemilihan Bahan Kemasan	219
15.4.1 Kerusakan Mekanis	219
15.4.2 Karakteristik Permeabilitas	219
15.4.3 Suhu	220
15.4.4 Tahan Terhadap Lemak	220
15.4.5 Cahaya	220

15.4.6 Perlindungan Terhadap Kontaminasi Mikroba	221
15.5 Teknologi dan Sistem Pengemasan	221
15.5.1 Modified Atmosphere Packaging (MAP).....	221
15.5.2 Active Packaging.....	223

Bab 16 Keamanan Pangan pada Produksi Skala Kecil

16.1 Keamanan Pangan dalam Perspektif Global	227
16.1.1 Keamanan Pangan sebagai Sistem Rantai Terintegrasi.....	229
16.1.2 Hubungan dengan Analisis Risiko	230
16.2 Karakteristik Produksi Pangan Skala Kecil.....	231
16.3 Tantangan Implementasi Keamanan Pangan pada Produksi Skala Kecil	233
16.4 Sumber Bahaya pada Produksi Pangan Skala Kecil.....	236
16.5 Higiene dan Sanitasi pada Industri Pangan Skala Kecil.....	238
16.6 Standar Higiene Personal pada Industri Pangan Skala Kecil.....	239
16.7 Prosedur Sanitasi Standar (SSOP) untuk Produksi Skala Kecil	241
16.8 Regulasi dan Sertifikasi untuk Industri Pangan Skala Kecil	242

Bab 17 Perancangan Produk Pangan Sehat Berbasis Lokal

17.1 Pendahuluan	245
17.2 Konsep Pangan Sehat.....	247
17.3 Konsep Sumber Daya Lokal dalam Pengembangan Produk.....	248
17.4 Tahapan Perancangan Produk Pangan Berbasis Lokal	250
17.4.1 Identifikasi Kebutuhan dan Tren Konsumen.....	250
17.4.2 Formulasi Produk	252
17.4.3 Desain Kemasan dan Label	254
17.5 Aspek Keamanan dan Regulasi.....	256

Bab 18 Pengujian Mutu Dasar dan Penerimaan Konsumen

18.1 Pendahuluan.....	257
18.1.1 Mengapa Mutu Dasar dan Penerimaan Konsumen Menentukan Keberhasilan Inovasi	257
18.1.2 Menentukan Makna “Sehat” dan “Lokal” Agar Uji yang Dipilih Tepat Sasaran	259
18.1.3 Profil Target Produk: Kompas sebelum Pengujian.....	261
18.2 Pengujian Mutu Dasar.....	262
18.2.1 Mutu Fisik: Menjamin Produk Konsisten dan Stabil.....	262
18.2.2 Mutu Kimia dan Gizi: Membuktikan “Sehat” dengan Data	268
18.2.3 Mutu Mikrobiologi dan Keamanan: Sehat Itu Harus Aman.....	270
18.3 Penerimaan Konsumen	273

18.3.1 Penerimaan Konsumen: Apakah Produk Sehat Lokal Dipilih?	273
18.3.2 Desain uji sensorial yang sederhana namun sah	274
18.3.3 Uji Hedonik: Mengukur Kesukaan Secara Langsung	274
18.3.4 Uji JAR: Menemukan Titik “Pas” untuk Produk Sehat	277

Bab 19 Contoh Produk: Minuman Fungsional, Camilan Sehat, dan Pangan Fermentasi

19.1 Pendahuluan.....	281
19.2 Minuman Fungsional	283
19.3 Camilan Sehat.....	285
19.4 Pangan fermentasi	286
19.5 Produk PANGAN Fungsional Berbasis Bahan Lokal Papua	289

Bab 20 Inovasi Pangan sebagai Sumber Pendapatan Desa

20.1 Inovasi Pangan Desa, Tantangan dan Peluangnya.....	293
20.2 Model Bisnis dan Manajemen Usaha Pangan	297
20.3 Strategi Keberlanjutan dan Pengembangan Usaha Pangan Desa	299

Daftar Pustaka	301
Biodata Penulis	353

Daftar Gambar

Gambar 3.1: Tahapan Perencanaan Bisnis	37
Gambar 3.2: Perencanaan dan Ekspektasi Organisasi Bisnis.....	37
Gambar 3.3: Pengaturan Intra dan Antar-Organisasi.....	37
Gambar 6.1: (a) struktur kimia senyawa fenolik (b) Struktur kimia senyawa Flavonoid.....	77
Gambar 6.2: Struktur Kimia Limonoid.....	77
Gambar 6.3: Stuktur Kimia Antosianin	78
Gambar 6.4: Tanin terhidrolisis dan Tanin terkondensasi	78
Gambar 6.5: Struktur Kimia Saponin.....	79
Gambar 6.6: Struktur Kimia Alkaloid.....	80
Gambar 7.1: Contoh Kehilangan Hasil pada Komoditi Jagung akibat Penanganan Pascapanen yang Kurang Tepat	92
Gambar 7.2: Hirarki Food waste reduction, recovery, dan recycling	93
Gambar 9.1: Mekanisme ketidakstabilan radikal bebas (A) dan donor elektron oleh antioksidan (B).....	115
Gambar 9.2: Mekanisme SCFA hasil fermentasi serat dalam meregulasi hormon dan metabolisme dalam tubuh.....	119
Gambar 9.3: Struktur kimia dari inulin (a), FOS (b), dan GOS (c).....	122
Gambar 9.4: Pengaruh probiotik, prebiotik, dan sinbiotik terhadap kesehatan tubuh	123
Gambar 11.1: Matriks sensitivitas berbagai komponen bioaktif terhadap faktor pengolahan dan penyimpanan.	142
Gambar 11.2: Strategi umum retensi komponen bioaktif selama pengolahan dan penyimpanan.	155
Gambar 13.1: Aneka Produk Fermentasi di Indonesia	176
Gambar 15.1: Pembagian jenis kemasan	214
Gambar 15.2: Kemasan kaleng 2 bagian (a) dan 3 bagian (b)	216
Gambar 15.3: Kemasan kertas dan karton	218
Gambar 17.1: Healthy Diets	248
Gambar 18.1: Alur pengujian mutu dasar dari produk pangan untuk kesiapan komersialisasi.....	259
Gambar 19.1: Minuman Fungsional	284
Gambar 19.2: Contoh Camilan Sehat	286
Gambar 19.3: Contoh produk pangan fermentasi	289
Gambar 19.4: Contoh produk pangan lokal Papua	290

Daftar Tabel

Tabel 5.1: Perbandingan Karakteristik Nutrisi Sereal Lokal dengan Sereal Komersil per 100g	60
Tabel 5.2: Nutrisi Tanaman Pangan Alternatif Indonesia	63
Tabel 5.3: Perbandingan Teknologi Pengolahan untuk Pangan Lokal.....	69
Tabel 6.2.: Buah lokal dan karakteristiknya.....	73
Tabel 6.2: Sayuran Lokal dan Karakteristiknya	75
Tabel 7.1: Estimasi Kehilangan Hasil Pascapanen pada Buah dan Sayur ...	91
Tabel 9.1: Kandungan senyawa antioksidan pada komoditas pangan lokal	116
Tabel 9.2: Kandungan serat pada komoditas pangan lokal	120
Tabel 9.3: Potensi komoditas pangan lokal dengan kandungan prebiotiknya ...	124
Tabel 12.1: Klasifikasi Teknologi Pengolahan Pangan Non-Termal	160
Tabel 12.2: Aplikasi Teknologi Non-Termal pada Berbagai Matriks Pangan....	163
Tabel 12.3: Contoh Kombinasi Teknologi Hurdle dan Efek Sinergisnya....	166
Tabel 12.4: Aplikasi Plasma Dingin pada Berbagai Produk Pangan.....	168
Tabel 12.5: Tantangan Implementasi Teknologi Plasma Dingin.....	169
Tabel 12.6: Prioritas Penelitian Teknologi Non-Termal untuk Pangan Sehat	171
Tabel 13.1: Karakteristik fungsional dan nutrisi beberapa produk pangan fermentasi	178
Tabel 14.1: Perbedaan perpindahan panas dan perpindahan massa dalam pengeringan.....	188
Tabel 15.1: Panduan komposisi gas MAP pada beberapa produk.....	222
Tabel 15.2: Hasil penelitian aplikasi MAP untuk hasil pertanian	223
Tabel 15.3: Persyaratan untuk Makanan yang Ditangani dengan Kemasan Aktif.....	224
Tabel 17.1: Contoh Penerapan Desain Produk.....	253
Tabel 18.1: Profil Target Produk (PTP)	261
Tabel 18.2: Parameter Mutu Fisik dan Implikasi	263
Tabel 18.3: Parameter Gizi–Sehat dan Hubungannya ke Sensori	270
Tabel 18.4: Desain Uji Sensori	274

Bab 1

Pengantar Pangan Sehat dan Tantangan Global

1.1 Konsep Pangan Sehat dalam Perspektif Ilmu Pangan

Pangan sehat dari perspektif ilmu pangan tidak hanya sekedar kumpulan zat gizi dalam suatu makanan, namun merupakan suatu sistem kompleks yang terdiri dari komponen kimia, fisik, dan biologis yang saling berinteraksi dan dalam mengalami perubahan selama proses pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi.

Perubahan tersebut dapat berdampak pada kualitas sensoris, kandungan gizinya, bioavailabilitas nutrien, hingga adanya kemungkinan pembentukan senyawa baru yang dapat bermanfaat atau justru berbahaya bagi tubuh manusia. Pemahaman yang utuh ini menjadi fondasi yang kokoh dalam pengembangan inovasi pangan, khususnya dalam upaya mengangkat potensi sumber daya lokal menjadi produk pangan sehat yang

tidak hanya bergizi, tetapi juga aman, stabil, dan diterima di pasaran. Berikut adalah uraian lebih lanjut mengenai konsep pangan sehat dalam perspektif ilmu pangan.

Pangan merupakan kebutuhan dasar manusia yang memiliki peran penting dalam mempertahankan kehidupan, mendukung aktivitas fisiologis, serta meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat. Dalam konteks ilmu pangan, pangan harus dipahami sebagai suatu sistem kompleks yang terdiri dari berbagai komponen kimia, fisik, dan biologis yang saling berinteraksi dan dapat mengalami perubahan selama proses pengolahan, penyimpanan, maupun distribusi. Oleh karena itu, kajian mengenai pangan sehat tidak hanya terbatas pada aspek kandungan gizi, tetapi juga mencakup karakteristik fisikokimia, stabilitas nutrien, keamanan pangan, serta penerimaan konsumen terhadap produk pangan tersebut.

Konsep pangan sehat secara umum merujuk pada pangan yang mampu memenuhi kebutuhan zat gizi tubuh secara optimal, aman dikonsumsi, serta berkontribusi terhadap pencegahan penyakit. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan pola makan sehat sebagai konsumsi beragam pangan yang seimbang, cukup energi, rendah gula tambahan, garam, serta lemak jenuh dan trans, serta kaya akan buah, sayuran, biji-bijian utuh, dan protein berkualitas (WHO, 2020).

Definisi ini menegaskan bahwa pangan sehat tidak hanya berbicara tentang apa yang dikonsumsi, tetapi juga tentang apa yang harus dibatasi. Prinsip ini sejalan dengan konsep gizi seimbang yang dikembangkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia yang menekankan keberagaman pangan, proporsi yang tepat, serta keamanan konsumsi sebagai pilar utama pola makan sehat.

Secara umum, pangan sehat memiliki karakteristik:

1. Mengandung zat gizi makro (karbohidrat, protein, lemak) dalam proporsi yang sesuai kebutuhan.
2. Kaya zat gizi mikro (vitamin dan mineral).
3. Mengandung serat dan senyawa bioaktif.

4. Aman dari cemaran biologis, kimia, dan fisik.
5. Diproduksi melalui sistem yang berkelanjutan.

Dalam perspektif ilmu pangan, kualitas pangan sehat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain komposisi kimia bahan pangan, sifat fisik bahan, metode pengolahan, serta kondisi penyimpanan. Komposisi kimia pangan mencakup kandungan air, karbohidrat, protein, lemak vitamin, mineral, serta senyawa bioaktif. Kandungan air dalam bahan pangan, misalnya, merupakan parameter kritis karena menentukan stabilitas produk selama penyimpanan.

Hal ini berkaitan erat dengan konsep aktivitas air (water activity), yaitu ukuran ketersediaan air bebas dalam pangan yang dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia. Penelitian Tapia et al. (2020) menyatakan bahwa nilai aktivitas air atau a_w merupakan prediktor terbaik untuk memperkirakan stabilitas mikrobiologis dan kimiawi suatu produk pangan.

Selain komponen nutrisi utama, banyak bahan pangan juga mengandung senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, karotenoid, dan fitosterol yang memiliki aktivitas biologis tertentu. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki potensi sebagai antioksidan, antiinflamasi, serta agen pencegah penyakit degeneratif seperti penyakit kardiovaskular dan diabetes. Kajian Shahidi dan Ambigaipalan (2021) menyebutkan bahan pangan asal tumbuhan memiliki beragam senyawa polifenol, yang mana diketahui senyawa ini bekerja melalui berbagai mekanisme, seperti kemampuan menangkal radikal bebas, dan meninduksi enzim detoksifikasi fase II.

Oleh karena itu, perhatian terhadap komponen bioaktif dalam pangan semakin meningkat. Tidak hanya karena potensinya dalam perspektif kesehatan, tetapi juga terkait upaya mempertahankan bioavailabilitasnya hingga mencapai target organ di dalam tubuh.

Konsep pangan sehat juga berkaitan erat dengan keamanan pangan (food safety). Keamanan pangan mengacu pada kondisi pangan yang bebas dari

cemaran biologis, kimia, dan fisik yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Cemaran biologis dapat berasal dari mikroorganisme patogen seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, dan *Campylobacter jejuni*. Sementara itu, cemaran kimia dapat berupa residu pestisida, logam berat, atau kontaminan lain yang berasal dari lingkungan maupun proses pengolahan.

Dalam industri pangan modern, berbagai sistem pengendalian mutu telah diterapkan untuk menjamin keamanan pangan, seperti penerapan *Good Manufacturing Practices* (GMP), *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), serta standar keamanan pangan internasional seperti ISO 22000. Penerapan sistem tersebut bertujuan untuk meminimalkan risiko kontaminasi selama proses produksi sehingga produk pangan yang dihasilkan aman dan berkualitas. Studi Motarjeni dan Lelieveld (2020) menunjukkan bahwa implementasi HACCP yang efektif dapat menurunkan risiko kejadian penyakit bawaan pangan hingga 50-70% di fasilitas pengolahan pangan skala menengah dan besar. Namun demikian, tantangan masih dihadapi oleh industri kecil dan menengah dalam mengadopsi sistem jaminan mutu karena keterbatasan sumber daya, infrastruktur, dan pemahaman teknis. Oleh karena itu, pengembangan inovasi pangan berbasis sumber daya pangan lokal harus mempertahankan aspek keamanan pangan secara serius yang mudah diadopsi oleh pelaku usaha kecil.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, konsep pangan sehat juga berkembang menuju konsep pangan fungsional (*functional foods*). Pangan fungsional merupakan pangan yang tidak hanya memberikan manfaat nutrisi dasar, tetapi juga memberikan efek fisiologis tambahan yang bermanfaat bagi kesehatan, baik pencegahan penyakit, maupun peningkatan kondisi fisik dan mental Contohnya adalah produk pangan yang diperkaya dengan probiotik, prebiotik, serat pangan, atau senyawa antioksidan.

Granato et al. (2020) menyatakan dalam kajiannya bahwa pengembangan pangan fungsional menjadi salah satu tren penting dalam industri pangan

global karena meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap hubungan antara pola makan dan kesehatan. Dengan demikian, pengembangan pangan sehat tidak hanya berfokus pada peningkatan kandungan gizi, tetapi juga pada mempertahankan stabilitas dan bioavailabilitas komponen fungsional agar dapat memberikan manfaat kesehatan masyarakat dalam meningkatkan status gizi dan kesesahatan masyarakat Indonesia secara berkelanjutan.

1.2 Dinamika Sistem Pangan Global

Sistem pangan global merupakan jaringan kompleks yang mencakup seluruh aktivitas yang berkaitan dengan produksi, distribusi, konsumsi, hingga pengelolaan limbah pangan. Sistem ini melibatkan berbagai aktor, mulai dari petani, industri pangan, distributor, hingga konsumen.

Dalam beberapa dekade terakhir, sistem pangan global mengalami perubahan yang sangat signifikan akibat berbagai faktor seperti pertumbuhan penduduk, urbanisasi, globalisasi perdagangan, serta perkembangan teknologi pangan. Perserikatan Bangsa-Bangsa memperkirakan bahwa populasi dunia akan mencapai sekitar 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050 (United Nations, 2022). Peningkatan jumlah penduduk ini akan berdampak pada meningkatnya permintaan terhadap pangan, baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

Selain pertumbuhan penduduk, urbanisasi juga memengaruhi pola konsumsi pangan masyarakat. Masyarakat perkotaan cenderung memiliki gaya hidup yang lebih cepat dan praktis, sehingga konsumsi pangan olahan dan makanan siap saji meningkat. Fenomena ini dikenal sebagai transisi nutrisi (nutrition transition), yaitu perubahan pola makan dari makanan tradisional berbasis bahan alami menuju makanan olahan yang tinggi gula, lemak, dan garam. Perubahan pola konsumsi ini mendorong peningkatan produksi pangan olahan (processed food) dan pangan ultra olahan (ultra-processed food). Produk-produk tersebut umumnya diproses melalui

berbagai tahapan teknologi industri seperti ekstrusi, hidrogenasi, atau penambahan bahan tambahan pangan.

Meskipun teknologi pengolahan pangan memberikan berbagai keuntungan, seperti memperpanjang umur simpan produk dan meningkatkan efisiensi distribusi, konsumsi pangan ultra-olahan yang berlebihan juga dapat menimbulkan juga dapat menimbulkan risiko kesehatan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsumsi pangan ultra-olahan berkaitan dengan peningkatan risiko diabetes, penyakit jantung, dan diabetes (Elizabeth et al., 2020).

Selain itu, globalisasi perdagangan pangan juga meningkatkan ketergantungan antarnegara dalam hal pasokan pangan. Banyak negara yang mengandalkan impor untuk memenuhi kebutuhan pangan tertentu. Kondisi ini dapat meningkatkan kerentanan sistem pangan ketika terjadi gangguan pada rantai pasok global, seperti yang terjadi selama pandemi COVID-19.

1.3 Tantangan Global dalam Produksi dan Pengolahan Pangan

Sistem pangan global saat ini menghadapi tantangan multidimensional yang saling terkait satu sama lain. Tantangan ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga melibatkan aspek lingkungan, ekonomi, sosial, dan politik yang kompleks. Pemahaman yang komprehensif tentang berbagai tantangan ini menjadi prasyarat penting dalam merumuskan strategi inovasi pangan berbasis sumber daya lokal yang adaptif dan berkelanjutan.

1.3.1 Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi dan Kualitas Pangan

Salah satu tantangan utama dalam sistem pangan global adalah dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian. Fenomena perubahan iklim

menyebabkan peningkatan suhu global, perubahan pola curah hujan, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir. Kondisi ini secara langsung mengganggu siklus tanam, menurunkan produktivitas lahan, dan meningkatkan risiko gagal panen di berbagai belahan dunia.

Dari sudut pandang ilmu pangan, perubahan iklim tidak hanya berdampak pada kuantitas produksi pangan, tetapi juga secara signifikan memengaruhi kualitas bahan baku yang dihasilkan melalui perubahan komposisi bahan pangan, termasuk kandungan protein, pati, lemak, vitamin, mineral, dan senyawa bioaktif, akibat variasi suhu, kelembapan, dan karbon dioksida di atmosfer, yang pada akhirnya memiliki implikasi serius terhadap nilai gizi pangan dan status gizi masyarakat yang mengonsumsinya.

1.3.2 Degradasi Lahan dan Dampaknya terhadap Produktivitas Pertanian

Selain perubahan iklim, degradasi lahan juga menjadi tantangan besar bagi produksi pangan. Praktik pertanian yang tidak berkelanjutan dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah dan berkurangnya produktivitas lahan pertanian. Menurut laporan *The State of Food and Agriculture 2025* yang dirilis FAO, sekitar 1,7 miliar orang tinggal di daerah dimana hasil panen mengalami penurunan akibat degradasi lahan yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Laporan tersebut terlihat bahwa degradasi lahan memberikan efek merugikan jangka panjang bagi manusia. Degradasi ini dipicu oleh beberapa faktor, seperti erosi tanah, tekanan oleh manusia, aktivitas deforestasi, maupun praktik tanam dan irigasi yang tidak berkelanjutan.

1.3.3 Keterbatasan Sumber Daya Air

Keterbatasan sumber daya air juga menjadi faktor yang membatasi produksi pangan global. Sektor pertanian merupakan pengguna terbesar air tawar di dunia, dengan sekitar 70% konsumsi air global digunakan untuk kegiatan pertanian. Perubahan iklim yang memicu kekeringan berkepanjangan di

berbagai kawasan telah memperparah krisis air untuk pertanian. Padahal keterbatasan air ini tidak hanya akan menurunkan jumlah hasil panen, tetapi juga memengaruhi kualitas nutrisi dan senyawa bioaktif pada pangan nabati (Sola et al., 2025).

1.3.4 Fenomena Food Lost and Waste

Food lost and waste merupakan istilah ketika bahan pangan atau makanan yang tidak dapat diolah sehingga dibuang begitu saja. Peristiwa ini dapat terjadi karena banyak faktor, seperti kualitas hasil panen yang tidak memenuhi keinginan pasar, kesalahan proses penyimpanan maupun distribusi, kurangnya permintaan konsumen, dan lainnya.

Menurut FAO dan Bappenas, Indonesia merupakan salah satu negara dengan food lost and waste tertinggi di negara Asia Tenggara. Hal ini cukup menyedihkan, mengingat masih banyak anak di Indonesia yang mengalami stunting karena kekurangan gizi, padahal di sisi lain, makanan dibuang begitu saja karena berlebih. Kesenjangan ini menunjukkan adanya kekeliruan dalam cara memandang, memproduksi, mendistribusikan, hingga memanfaatkan pangan itu sendiri.

1.4 Pangan Lokal sebagai Sumber Inovasi Pangan Sehat

Di tengah berbagai tantangan global, pemanfaatan sumber daya pangan lokal menjadi salah satu strategi penting dalam pengembangan sistem pangan yang berkelanjutan. Pangan lokal merupakan komoditas pangan yang dibudidayakan, diproduksi, dan dikonsumsi sesuai dengan kondisi agroekologi dan budaya setempat, serta telah menjadi bagian dari kearifan dan identitas masyarakat suatu wilayah.

Banyak bahan pangan lokal Indonesia memiliki kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif yang tinggi. Misalnya, berbagai jenis umbi-umbian,

sereal lokal, dan kacang-kacangan diketahui mengandung serta pangan, vitamin, mineral, serta antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan. Salah satu penelitian mengenai pangan lokal dilakukan oleh Sabda et al. (2019), dimana dalam penelitian tersebut menyebutkan bahwa salah satu senyawa bioaktif pada umbi gembili yaitu diosgenin (pangan lokal asal Papua), yang dapat meningkatkan imunitas tubuh dan mencegah penyakit metabolik

Bahan pangan lokal yang kaya nutrisi dan senyawa bioaktif ini dapat diolah menjadi berbagai produk inovatif melalui penerapan teknologi pengolahan yang tepat. Pemilihan teknologi yang sesuai menjadi faktor kritis karena proses pengolahan dapat memengaruhi stabilitas, bioavailabilitas, dan fungsionalitas komponen gizi dalam bahan pangan.

Beberapa contoh teknologi yang biasa digunakan dalam pengolahan pangan, yaitu:

1. Teknologi Fermentasi

Fermentasi merupakan teknologi pengolahan tradisional yang saat ini terus dikembangkan karena dapat meningkatkan ketersediaan hayati (bioavailability) zat gizi menghasilkan senyawa bioaktif baru yang bermanfaat bagi kesehatan. Utami et al. (2024) menyebutkan bahwa fermentasi koto pedang menggunakan *Rhizopus oligosporus* menunjukkan penurunan kadar asam fitat yang dapat meningkatkan bioavailabilitas kalsium dan fosfor.

2. Teknologi Pengeringan

Teknologi pengeringan biasa dilakukan pada pengolahan pangan berkadar air tinggi. Proses pengeringan akan menurunkan aktivitas air sehingga dapat memperpanjang umur simpan. Hal ini diperkuat pada penelitian Widyasustuti dan Istini (2004) yang menyebutkan bahwa jamur tiram yang dikeringkan menjadi tepung dapat memperpanjang umur simpan produk tersebut.

3. Teknologi Ekstrusi

Teknologi ekstrusi memungkinkan pembentukan berbagai produk seperti beras analog, pasta, dan sereal sarapan dengan efisiensi tinggi. Majid et al. (2025) mengembangkan beras analog berbasis sorgum (88g), mocaf (10g), tepung daun kelor (2g), dan glukomanan (0,1g) yang menghasilkan indeks glikemik rendah dan direkomendasikan sebagai alternatif pangan fungsional penderita diabetes mellitus.

Hingga saat ini, pengembangan inovasi pangan sehat di masa depan memerlukan pendekatan yang integratif antara ilmu pangan, teknologi pengolahan, serta aspek berkelanjutan lingkungan. Teknologi pangan memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi proses produksi, mempertahankan kualitas nutrisi, serta menjamin keamanan produk pangan.

Beberapa pendekatan inovatif yang dapat diterapkan antara lain pengembangan pangan fungsional, fortifikasi pangan, serta pemanfaatan teknologi pengolahan modern yang ramah lingkungan. Selain itu, pendekatan ekonomi sirkular dalam sistem pangan juga mulai mendapat perhatian, terutama dalam upaya mengurangi limbah pangan dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya.

Dengan memanfaatkan potensi sumber daya pangan lokal serta dukungan teknologi pangan yang tepat, diharapkan dapat dihasilkan produk pangan sehat yang tidak hanya bergizi, tetapi juga berkelanjutan secara ekonomi dan lingkungan.

Bab 2

Sistem Pangan Indonesia dan Ketahanan Nasional

2.1 Kerangka Sistem Pangan dan Ketahanan Nasional

Sistem pangan merupakan suatu rangkaian aktivitas yang terintegrasi mulai dari produksi, pengolahan, distribusi, hingga pangan tersebut dikonsumsi. FAO sebagai Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa dalam laporannya, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023* (FAO, 2023), mendefinisikan sistem pangan sebagai semua elemen dan aktivitas yang berkaitan dengan produksi, pemrosesan, distribusi, persiapan, dan konsumsi pangan, beserta dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang ditimbulkannya. Definisi ini menegaskan bahwa sistem pangan tidak hanya mencakup sektor pertanian dalam artian yang sempit, tetapi melibatkan seluruh rantai nilai dari hulu ke hilir.

Di Indonesia, sistem pangan memiliki posisi yang signifikan dalam struktur perekonomian nasional. Badan Pusat Statistik dalam publikasi Statistik Indonesia 2025 (BPS, 2025) menunjukkan bahwa sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan masih menjadi penyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, meskipun kontribusinya terhadap Produk Domestik Bruto berada di bawah sektor industri pengolahan dan perdagangan. Data tersebut memperlihatkan bahwa sistem pangan bukan hanya persoalan penyediaan komoditas, tetapi juga menyangkut keberlanjutan mata pencaharian jutaan rumah tangga di wilayah perdesaan.

Tujuan utama dari penyelenggaraan sistem pangan sendiri adalah tercapainya ketahanan pangan. FAO (2023) merumuskan empat dimensi ketahanan pangan, yaitu ketersediaan (*availability*), akses (*access*), pemanfaatan (*utilization*), dan stabilitas (*stability*). Ketersediaan merujuk pada tersedianya pangan dalam jumlah yang cukup melalui produksi domestik, cadangan pemerintah, maupun perdagangan internasional. Akses berkaitan dengan kemampuan individu atau rumah tangga untuk memperoleh pangan secara fisik dan ekonomi.

Pemanfaatan mengacu pada penggunaan pangan secara tepat untuk memenuhi kebutuhan gizi, termasuk aspek keamanan dan kualitas pangan. Sementara itu, stabilitas menekankan keberlanjutan ketiga dimensi tersebut dalam jangka panjang tanpa terganggu oleh fluktuasi harga, gangguan produksi, atau krisis ekonomi. Keempat dimensi tersebut merupakan dimensi yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan.

FAO (2023) menegaskan bahwa peningkatan produksi pangan di tingkat nasional tidak secara otomatis menjamin terpenuhinya kebutuhan gizi masyarakat, apabila distribusi tersebut tidak merata atau daya beli masyarakat rendah. Dalam konteks Indonesia, data Survei Sosial Ekonomi Nasional yang dirilis BPS (2025) menunjukkan bahwa proporsi pengeluaran rumah tangga untuk pangan masih relatif tinggi pada kelompok berpendapatan rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa dimensi akses tetap menjadi faktor penting dalam mewujudkan ketahanan pangan.

Dalam kerangka pembangunan global, Perserikatan Bangsa-Bangsa melalui Sustainable Development Goals (United Nations, 2015), tujuan 2 yaitu Zero Hunger, menetapkan untuk fokus pada penghapusan kelaparan, pencapaian ketahanan pangan, perbaikan gizi, dan pengembangan pertanian berkelanjutan. Komitmen tersebut menempatkan sistem pangan sebagai bagian integral dari agenda pembangunan berkelanjutan. Indonesia sebagai negara anggota PBB tentunya turut mengintegrasikan tujuan tersebut dalam dokumen perencanaan pembangunan nasional.

Hubungan antara pangan dan stabilitas nasional juga mendapat perhatian dalam berbagai laporan pembangunan internasional. World Bank dalam Indonesia Economic Prospects 2024 (World Bank, 2024) menekankan bahwa volatilitas harga pangan memiliki dampak langsung terhadap tingkat kemiskinan dan daya beli masyarakat, terutama di negara-negara baru berkembang. Kenaikan harga komoditas pangan pokok dapat meningkatkan inflasi dan memperparah ketimpangan sosial. Oleh karena itu, stabilitas sistem pangan memiliki implikasi yang lebih luas terhadap stabilitas ekonomi dan sosial.

Di Indonesia, peran negara dalam menjamin sistem pangan tercermin dalam berbagai kebijakan sektoral. Kementerian Pertanian melalui Outlook Komoditas Pertanian 2024 (Kementerian Pertanian, 2024) menegaskan pentingnya peningkatan produksi dan produktivitas komoditas strategis guna menjaga ketersediaan pasokan domestik. Program intensifikasi, penyediaan sarana produksi, serta penguatan kelembagaan petani menjadi bagian dari strategi tersebut. Sementara itu, Kementerian Perdagangan dalam Laporan Kinerja 2024 (Kementerian Perdagangan, 2024) menekankan upaya stabilisasi harga dan kelancaran distribusi melalui pengelolaan perdagangan dalam negeri dan kebijakan impor yang terukur.

Selain aspek produksi dan distribusi, negara juga berperan dalam penyediaan data dan informasi yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan. Salah satunya melalui Badan Pusat Statistik (BPS), yang secara rutin menerbitkan data luas panen, produksi komoditas pangan, perkembangan harga, serta pola konsumsi rumah tangga. Ketersediaan data

yang terukur dapat menjadi prasyarat penting dalam perumusan kebijakan pangan yang efektif dan responsif terhadap dinamika pasar.

Pendekatan sistem dalam pengelolaan pangan juga menuntut integrasi lintas sektor. Sistem pangan tidak hanya berada dalam lingkup Kementerian Pertanian, tetapi juga berkaitan dengan sektor perdagangan, industri pengolahan, kesehatan, serta perencanaan pembangunan. World Bank (2024) menekankan bahwa koordinasi kebijakan lintas sektor diperlukan untuk memastikan bahwa peningkatan produksi tidak mengabaikan aspek efisiensi pasar dan perlindungan konsumen. Dalam konteks ini, penguatan koordinasi kelembagaan menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan antara kepentingan produsen dan konsumen.

Dengan demikian, kerangka sistem pangan dan ketahanan nasional di Indonesia dapat dipahami sebagai struktur yang kompleks dan multidimensi. Sistem pangan mencakup rangkaian aktivitas dari hulu ke hilir, sementara ketahanan pangan menjadi indikator keberhasilan sistem tersebut dalam menjamin ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas pangan bagi seluruh masyarakat. Berdasarkan berbagai laporan, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan sistem pangan memerlukan keterpaduan kebijakan, dukungan data yang akurat, serta komitmen negara dalam menjaga keberlanjutan dan stabilitas pasokan pangan nasional.

2.2 Struktur dan Karakteristik Sistem Pangan Indonesia

Struktur sistem pangan suatu negara tidak dapat dipisahkan dari konteks sosial, ekonomi, dan geografisnya. Ericksen (2008) menjelaskan bahwa sistem pangan merupakan sistem sosial-ekologis yang mencakup interaksi antara produksi, distribusi, dan konsumsi pangan, serta dipengaruhi oleh dinamika lingkungan, pasar, dan kelembagaan. Dengan pendekatan tersebut, analisis sistem pangan Indonesia harus mempertimbangkan

karakteristik wilayah kepulauan, struktur pelaku usaha, serta pola konsumsi masyarakat yang berkembang secara historis.

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia menghadapi tantangan distribusi yang berbeda dari negara lain. Konektivitas antarwilayah sangat menentukan kelancaran arus komoditas pangan. Badan Pusat Statistik dalam Statistik Indonesia 2025 (BPS, 2025) menunjukkan bahwa disparitas harga pangan antarprovinsi masih terjadi, terutama pada wilayah dengan akses transportasi terbatas. Kondisi ini memperlihatkan bahwa dimensi spasial memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi rantai pasok pangan nasional.

Dari sisi produksi, struktur pertanian Indonesia masih didominasi oleh usaha tani skala kecil. BPS (2025) mencatat bahwa sebagian besar rumah tangga usaha pertanian mengelola lahan dengan luas terbatas. Struktur ini berdampak pada skala ekonomi dan kemampuan adopsi teknologi. Timmer (2015) dalam kajiannya mengenai transformasi pertanian dan ketahanan pangan, menegaskan bahwa negara-negara baru berkembang umumnya menghadapi tantangan peningkatan produktivitas akibat fragmentasi lahan dan keterbatasan akses terhadap modal serta inovasi. Kondisi tersebut relevan dengan struktur produksi pangan Indonesia saat ini.

Konsentrasi produksi dan konsumsi pada komoditas tertentu juga menjadi karakteristik penting sistem pangan Indonesia. Kementerian Pertanian dalam Outlook Komoditas Pertanian 2024 (Kementerian Pertanian, 2024) menempatkan beras sebagai komoditas strategis utama dalam kebijakan produksi nasional. Pola konsumsi masyarakat yang beras-sentris memperkuat posisi beras sebagai penopang utama ketersediaan pangan. Namun, HLPE (2017) dalam laporan Nutrition and Food Systems menekankan bahwa sistem pangan yang terlalu bertumpu pada satu komoditas cenderung memiliki tingkat diversifikasi konsumsi yang rendah, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas gizi masyarakat.

Selain komoditas domestik utama, Indonesia juga memiliki ketergantungan pada impor untuk beberapa bahan pangan seperti gandum dan kedelai. Kementerian Perdagangan dalam Laporan Kinerja 2024 (Kementerian

Perdagangan, 2024) menjelaskan bahwa kebijakan perdagangan pangan diarahkan untuk menjaga keseimbangan pasokan dan stabilitas harga. Dalam perspektif global, World Bank (2024) dalam *Indonesia Economic Prospects 2024*, menyoroti bahwa integrasi dalam perdagangan internasional membuka peluang pemenuhan kebutuhan domestik, tetapi sekaligus meningkatkan risiko terhadap fluktuasi harga global. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pangan nasional tidak berdiri sendiri, melainkan terhubung erat dengan dinamika pasar internasional.

Transformasi rantai nilai pangan juga menjadi ciri penting sistem pangan modern. Reardon dan Timmer (2012) menjelaskan bahwa di banyak negara baru berkembang terjadi pergeseran dari sistem distribusi tradisional menuju rantai nilai yang lebih terintegrasi, dengan peningkatan peran industri pengolahan dan ritel modern. Fenomena serupa mulai terlihat di Indonesia, di mana sektor industri makanan dan minuman mengalami pertumbuhan yang signifikan dan berkontribusi terhadap struktur PDB nasional (BPS, 2025). Pergeseran ini menunjukkan bahwa sistem pangan Indonesia tidak hanya bertumpu pada produksi primer, tetapi semakin dipengaruhi oleh sektor pengolahan dan distribusi modern.

Dari sisi konsumsi, perubahan pola makan masyarakat Indonesia juga mencerminkan dinamika sistem pangan yang lebih luas. FAO (2023) mencatat bahwa banyak negara berkembang mengalami transisi pola konsumsi seiring dengan urbanisasi dan peningkatan pendapatan. Di Indonesia, urbanisasi yang terus meningkat dari tahun ketahun, turut mendorong pertumbuhan konsumsi pangan olahan dan siap saji. Perubahan ini menandai adanya transformasi dalam hubungan antara produksi dan konsumsi pangan.

Secara kelembagaan, pengelolaan sistem pangan Indonesia melibatkan berbagai aktor pemerintah. Kementerian Pertanian berfokus pada peningkatan produksi dan produktivitas, Kementerian Perdagangan mengatur distribusi dan stabilisasi harga, sementara BPS menyediakan data statistik sebagai dasar pengambilan keputusan. Ericksen (2008) menekankan bahwa efektivitas sistem pangan sangat dipengaruhi oleh

koordinasi antar stakeholder dan konsistensi kebijakan pemerintah. Di Indonesia, kebutuhan akan koordinasi lintas sektor menjadi semakin penting mengingat kompleksitas struktur produksi dan distribusi yang ada.

Dengan mempertimbangkan dimensi produksi, distribusi, konsumsi, dan kelembagaan, sistem pangan Indonesia dapat dipahami sebagai sistem yang kompleks dan terus mengalami transformasi. Dominasi usaha tani kecil, konsentrasi konsumsi pada komoditas tertentu, keterhubungan dengan pasar global, serta perubahan pola konsumsi akibat urbanisasi membentuk karakteristik yang khas. Pemahaman terhadap struktur ini menjadi landasan penting untuk menganalisis potensi kerentanan dan strategi penguatan sistem pangan nasional pada pembahasan berikutnya.

2.3 Dinamika dan Kerentanan Sistem Pangan Nasional

Sistem pangan nasional pada dasarnya bersifat dinamis dan terus mengalami perubahan akibat faktor demografis, ekonomi, lingkungan, dan globalisasi. Transformasi ini menciptakan peluang penguatan kapasitas produksi dan distribusi, namun pada saat yang sama memunculkan berbagai bentuk kerentanan struktural. Pemahaman terhadap dinamika tersebut penting untuk menilai sejauh mana sistem pangan Indonesia mampu beradaptasi terhadap perubahan.

Salah satu dinamika utama adalah pertumbuhan penduduk dan urbanisasi. Badan Pusat Statistik (BPS, 2025) menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia yang terus meningkat, dengan konsentrasi yang semakin besar di wilayah perkotaan. Urbanisasi berdampak pada perubahan pola konsumsi, peningkatan permintaan pangan olahan, serta meningkatnya ketergantungan pada sistem distribusi yang efisien. FAO (2023) mencatat bahwa di banyak negara baru berkembang, urbanisasi memperpendek jarak antara konsumen dan ritel modern, namun juga memperpanjang rantai

pasok dari sisi produksi karena kebutuhan pasokan dalam volume besar dan stabil.

Dinamika kedua berkaitan dengan transformasi ekonomi dan perubahan struktur pasar. Reardon dan Timmer (2012) menjelaskan bahwa sistem pangan modern mengalami “revolusi ritel” yang ditandai oleh peningkatan peran supermarket, industri pengolahan, serta integrasi vertikal dalam rantai nilai. Di Indonesia, pertumbuhan industri makanan dan minuman yang tercatat dalam Statistik Indonesia (BPS, 2025) menunjukkan adanya pergeseran dari dominasi pasar tradisional menuju struktur distribusi yang lebih terorganisir. Perubahan ini meningkatkan efisiensi, tetapi juga menuntut standar mutu dan konsistensi pasokan yang lebih tinggi dari produsen primer.

Selain faktor ekonomi, dinamika lingkungan turut memengaruhi stabilitas sistem pangan. World Bank (2024) menyoroti bahwa perubahan iklim meningkatkan frekuensi gangguan produksi pertanian melalui pola cuaca ekstrem, kekeringan, maupun banjir. Indonesia sebagai negara tropis dengan ketergantungan tinggi pada pertanian berbasis lahan dan musim tidak terlepas dari pengaruh tersebut. Kementerian Pertanian (2024) juga mengakui bahwa variabilitas iklim menjadi salah satu faktor yang memengaruhi capaian produksi komoditas strategis. Ketergantungan pada musim dan kondisi agroklimat tertentu menempatkan sistem pangan pada posisi yang sensitif terhadap perubahan lingkungan.

Kerentanan lain muncul dari konsentrasi konsumsi pada komoditas tertentu. HLPE (2017) menjelaskan bahwa sistem pangan dengan tingkat diversifikasi rendah cenderung memiliki fleksibilitas terbatas dalam menghadapi gangguan pasokan. Dalam konteks Indonesia, dominasi beras sebagai pangan pokok utama membuat stabilitas komoditas ini memiliki implikasi luas terhadap stabilitas sosial dan ekonomi. Ketika terjadi gangguan produksi atau distribusi, dampaknya tidak hanya bersifat ekonomi, tetapi juga dapat memengaruhi persepsi publik terhadap ketahanan nasional.

Di sisi lain, hubungan Indonesia dengan pasar global menciptakan bentuk kerentanan yang berbeda. Ketergantungan pada impor beberapa komoditas pangan, sebagaimana dilaporkan oleh Kementerian Perdagangan (2024), membuat stabilitas domestik turut dipengaruhi oleh dinamika harga internasional. World Bank (2024) mencatat bahwa fluktuasi harga pangan global dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan volatilitas yang cukup tinggi akibat gangguan rantai pasok dan ketegangan geopolitik. Integrasi pasar global memang memperluas akses pasokan, tetapi sekaligus memperbesar eksposur terhadap guncangan eksternal.

Namun demikian, dinamika tidak selalu identik dengan kerentanan. Ericksen (2008) menekankan bahwa sistem pangan memiliki kapasitas adaptif yang dapat diperkuat melalui inovasi teknologi, diversifikasi produksi, serta kebijakan yang responsif. Dalam konteks Indonesia, berbagai program peningkatan produktivitas, pembangunan infrastruktur distribusi, dan penguatan cadangan pangan nasional menunjukkan adanya upaya sistematis untuk meningkatkan daya tahan sistem pangan. FAO (2023) menyebutkan bahwa kapasitas adaptasi menjadi komponen penting dalam membangun sistem pangan yang berkelanjutan.

Oleh karena itu, dinamika sistem pangan Indonesia dapat dipahami sebagai interaksi antara pertumbuhan permintaan, transformasi pasar, tekanan lingkungan, dan integrasi global. Setiap dinamika membawa implikasi terhadap tingkat sensitivitas dan kemampuan sistem untuk merespons gangguan. Tanpa memasuki pembahasan manajemen risiko secara eksplisit, analisis ini menunjukkan bahwa pemahaman terhadap sumber-sumber kerentanan merupakan prasyarat penting bagi perumusan strategi penguatan sistem pangan nasional. Analisis ini sekaligus menjadi jembatan menuju pembahasan berikutnya mengenai peran kebijakan dan tata kelola dalam menjaga stabilitas sistem pangan sebagai bagian dari ketahanan nasional.

2.4 Tata Kelola dan Manajemen Risiko Sistem Pangan dalam Mendukung Ketahanan Nasional

Kompleksitas sistem pangan nasional menempatkannya sebagai salah satu sektor strategis yang sarat dengan ketidakpastian. Produksi pertanian yang bergantung pada kondisi agroklimat, distribusi yang dipengaruhi infrastruktur dan geografi kepulauan, serta interkoneksi dengan pasar global menjadikan sistem pangan sebagai sistem terbuka yang rentan terhadap berbagai sumber risiko. Oleh karena itu, penguatan ketahanan pangan nasional memerlukan integrasi kerangka manajemen risiko dalam tata kelola sistem pangan.

Dalam perspektif teoritis, Ulrich Beck (1992) melalui konsep *risk society* menjelaskan bahwa masyarakat modern semakin ditandai oleh risiko-risiko yang dihasilkan oleh sistem itu sendiri. Risiko dalam sistem pangan tidak lagi bersifat lokal dan terisolasi, melainkan sistemik dan saling terhubung. Gangguan pada rantai pasok global, fluktuasi harga internasional, atau perubahan iklim dapat memengaruhi stabilitas pangan domestik. World Bank (2024) mencatat bahwa volatilitas harga pangan global dalam beberapa tahun terakhir meningkat akibat ketegangan geopolitik dan gangguan logistik internasional. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi Indonesia dalam perdagangan global membawa konsekuensi berupa peningkatan eksposur terhadap risiko eksternal.

Pendekatan *risk governance* yang dikembangkan oleh Renn (2008) menekankan bahwa pengelolaan risiko dalam sistem kompleks memerlukan proses yang mencakup identifikasi risiko, analisis dampak, komunikasi, dan pengambilan keputusan secara partisipatif. Dalam sistem pangan Indonesia, pengelolaan risiko melibatkan berbagai aktor, termasuk Kementerian Pertanian yang berfokus pada produksi (Kementerian Pertanian, 2024), Kementerian Perdagangan yang mengatur stabilisasi harga dan distribusi (Kementerian Perdagangan, 2024), serta Badan Pusat

Statistik yang menyediakan data sebagai dasar kebijakan (BPS, 2025). Koordinasi antaraktor ini menjadi prasyarat dalam membangun sistem pangan yang adaptif.

Risiko dalam sistem pangan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama. FAO (2023) mengidentifikasi risiko produksi (variabilitas iklim, hama, degradasi lahan), risiko pasar (fluktuasi harga dan permintaan), risiko kelembagaan (ketidak konsistenan kebijakan), serta risiko distribusi (gangguan logistik dan disparitas wilayah). Di Indonesia, variabilitas iklim dan keterbatasan infrastruktur masih menjadi faktor yang memengaruhi stabilitas produksi komoditas strategis (Kementerian Pertanian, 2024). Disparitas harga antar wilayah yang dilaporkan oleh BPS (2025) juga menunjukkan bahwa risiko distribusi memiliki implikasi nyata terhadap akses pangan.

Dari sudut pandang teori ketidakpastian, Taleb (2007) membedakan antara risiko yang terukur dan kejadian ekstrem yang sulit diprediksi (*black swan*). Sistem pangan yang terlalu terkonsentrasi pada satu komoditas utama cenderung lebih rapuh terhadap gangguan tak terduga. Dominasi beras dalam pola konsumsi nasional, sebagaimana tercermin dalam data BPS (2025), memperlihatkan adanya konsentrasi struktural yang berpotensi meningkatkan sensitivitas sistem terhadap gangguan produksi atau distribusi komoditas tersebut. Diversifikasi pangan, dalam konteks ini, bukan hanya strategi peningkatan gizi, tetapi juga instrumen pengurangan risiko sistemik.

Dimensi perilaku risiko juga memiliki peran penting dalam sistem pangan. Slovic (1987) menekankan bahwa persepsi risiko individu sering kali berbeda dari pengukuran statistik yang dilakukan oleh ahli. Persepsi tersebut memengaruhi keputusan ekonomi dan respons terhadap ketidakpastian. Pada tingkat mikro, penelitian Cindy Paloma (2024) mengenai persepsi dan sikap risiko petani manggis di Kelurahan Pauh, Kota Padang, memberikan gambaran empiris mengenai bagaimana risiko dipahami dan direspons oleh pelaku produksi. Penelitian tersebut menemukan bahwa tingkat risiko produksi manggis, yang diukur melalui

koefisien variasi, mencapai 0,47 (47%), menunjukkan fluktuasi hasil yang relatif tinggi. Sebagian besar petani (98%) menunjukkan perilaku risk-averse, sementara hanya sebagian kecil yang bersikap netral.

Temuan tersebut mengindikasikan bahwa ketidakpastian produksi secara nyata membentuk preferensi keputusan petani. Faktor usia, pengalaman bertani, dan tingkat pendapatan terbukti berpengaruh signifikan terhadap sikap risiko. Hasil ini memperlihatkan bahwa sistem pangan nasional pada dasarnya merupakan agregasi dari keputusan individu yang dipengaruhi oleh persepsi dan aversi terhadap risiko. Jika mayoritas pelaku usaha bersifat menghindari risiko, maka kecenderungan untuk mengadopsi inovasi baru yang dianggap berisiko dapat menjadi terbatas.

Dalam kerangka risk governance (Renn, 2008), pemahaman terhadap karakteristik dan perilaku aktor menjadi elemen penting dalam merancang kebijakan yang efektif. Dengan demikian, analisis risiko dalam sistem pangan tidak hanya bersifat teknis kuantitatif, tetapi juga mencakup dimensi sosial dan perilaku yang menentukan efektivitas kebijakan publik.

Kerangka Agricultural Risk Management yang dikembangkan oleh World Bank (2014) membagi respons risiko ke dalam strategi mitigasi, transfer, dan penanggulangan. Mitigasi mencakup peningkatan produktivitas dan penggunaan teknologi adaptif; transfer risiko dapat dilakukan melalui instrumen seperti asuransi pertanian; sedangkan strategi penanggulangan meliputi pembentukan cadangan pangan dan intervensi stabilisasi harga. Dalam konteks Indonesia, kebijakan cadangan beras pemerintah dan penguatan logistik pangan mencerminkan pendekatan penanggulangan risiko untuk menjaga stabilitas pasokan dan harga.

OECD (2011) menekankan bahwa sistem yang tangguh bukanlah sistem yang bebas risiko, melainkan sistem yang mampu mengelola risiko secara proporsional dan adaptif. Konsep resiliensi ini menggarisbawahi pentingnya fleksibilitas kebijakan dan kapasitas institusional dalam menghadapi perubahan. Bagi Indonesia, integrasi manajemen risiko dalam tata kelola sistem pangan berarti memperkuat produktivitas, mendorong

diversifikasi, mengembangkan infrastruktur distribusi, serta meningkatkan kualitas sistem informasi dan koordinasi kelembagaan.

Dari perspektif ketahanan nasional, pengelolaan risiko pangan memiliki implikasi strategis. Gangguan pasokan atau lonjakan harga pangan dapat berdampak pada stabilitas ekonomi dan sosial. HLPE (2017) menegaskan bahwa stabilitas sistem pangan berkontribusi terhadap pembangunan manusia dan kohesi sosial. Oleh karena itu, manajemen risiko dalam sistem pangan bukan sekadar instrumen teknis sektoral, melainkan bagian integral dari strategi pembangunan nasional.

Dengan demikian, tata kelola sistem pangan Indonesia perlu mengintegrasikan pendekatan berbasis risiko secara sistematis dan berkelanjutan. Penguatan kapasitas produksi, diversifikasi komoditas, modernisasi distribusi, dukungan terhadap pelaku usaha, serta pemanfaatan data sebagai dasar pengambilan keputusan merupakan komponen yang saling terkait dalam membangun sistem pangan yang tangguh. Integrasi teori risiko dan praktik kebijakan ini menegaskan bahwa ketahanan pangan nasional tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan sumber daya, tetapi juga oleh kemampuan negara dan pelaku sistem dalam mengelola ketidakpastian secara strategis.

Bab 3

Konsep Pangan Fungsional dan Kesehatan Masyarakat

3.1 Pendahuluan

Bab 3 ini akan memfokuskan pada pergeseran pola penyakit dari menular ke penyakit tidak menular (PTM) seperti diabetes dan hipertensi. Peran pangan yang mengalami proses transisi pandangan terhadap pangan, dari sekadar pemuas lapar menjadi instrumen pencegahan penyakit. Bab ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam tentang kaitan antara komponen bioaktif dalam pangan dengan peningkatan status kesehatan publik.

Pergeseran paradigma kesehatan global melalui transisi epidemiologi telah menyebabkan beban ganda penyakit (double burden of diseases), dimana negara berkembang menghadapi koeksistensi penyakit infeksi dan PTM (NCDs) seperti diabetes tipe 2, hipertensi, obesitas, serta penyakit kardiovaskular (Konkor & Kuuire, 2023). Transisi epidemiologis ini

bergeser dari dominasi penyakit infeksi menular ke PTM akibat urbanisasi, industrialisasi, dan perubahan gaya hidup, dengan NCDs menyumbang 74% kematian global. Di negara seperti Indonesia, penyakit infeksi tetap terjadi secara umum tapi NCDs meningkat pesat, menciptakan beban ganda di komunitas miskin (Ciccacci et al., 2020).

Gaya hidup sedenter dan pola makan tinggi kalori-rendah nutrisi (Western diet) memicu faktor risiko metabolik seperti obesitas (13% kematian NCDs), hipertensi (25%), dan hiperglikemia. Obesitas terkait >70% NCDs melalui metaflamasi kronis rendah derajat.

Sedenter adalah istilah yang merujuk pada gaya hidup atau pola perilaku yang ditandai dengan minimnya aktivitas fisik dan banyaknya waktu yang dihabiskan dalam posisi duduk atau berbaring. Kata "sedenter" berasal dari bahasa Latin "sedere" yang berarti "duduk". Dalam konteks kesehatan modern, gaya hidup sedenter dipahami sebagai kondisi di mana seseorang menghabiskan sebagian besar waktunya dengan aktivitas yang membutuhkan sedikit atau bahkan tanpa pergerakan fisik yang berarti.

Pangan fungsional berperan sebagai strategi preventif non-farmakologis dengan nutraceuticals (bioaktif dari buah, sayur, biji-bijian) yang mengurangi inflamasi dan risiko NCDs melalui diet seimbang (Garza-Juárez et al., 2023). Preferensi masyarakat terhadap pangan fungsional dipengaruhi demografi, persepsi kesehatan, dan gaya hidup, mendukung pencegahan PTM (Amalia et al., 2024).

Konsep evolusi pangan melalui tiga tahap, yaitu survival (kelangsungan hidup), safety (keamanan dan gizi dasar), serta fungsional (fungsi kesehatan via bioaktif) didukung oleh literatur ilmiah yang membahas transisi nutrisi manusia dari dasar bertahan hidup ke manfaat terapeutik.

Tahap Survival

Pangan difokuskan untuk memenuhi kebutuhan dasar kelangsungan hidup, seperti pencegahan kelaparan dan penyediaan energi utama. Konsep mempertahankan kelangsungan hidup di mana pangan diperlukan untuk menjaga tubuh tetap hidup, bergerak, hangat, dan tumbuh.

Manusia membutuhkan tiga building blocks utama atau makronutrien, yaitu Karbohidrat, Protein, dan Lemak. Tanpa ketiganya, mesin biologis manusia akan mengalami kegagalan sistemik.

Karbohidrat adalah sumber glukosa, yang merupakan sumber energi utama bagi sel-sel tubuh, terutama otak. Glukosa melalui proses respirasi seluler menghasilkan ATP (Adenosine Triphosphate). Otak manusia mengonsumsi sekitar 20% dari total energi tubuh, dan sangat bergantung pada pasokan glukosa yang stabil. Karbohidrat harus mencakup 45-65% dari total asupan kalori harian untuk mencegah ketosis yang berlebihan dan menjaga fungsi kognitif yang optimal.

Protein terdiri dari asam amino yang diperlukan untuk membangun dan memperbaiki jaringan (otot, kulit, organ). Selain itu, protein berfungsi sebagai enzim yang mengatalisis ribuan reaksi kimia dalam tubuh serta sebagai hormon (seperti insulin). The Journal of Nutrition menekankan bahwa asam amino esensial (yang tidak bisa diproduksi tubuh sendiri) harus didapatkan dari makanan untuk menjaga keseimbangan nitrogen positif, yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perbaikan sel.

Lemak sebagai cadangan Energi dan Pelindung (Fungsi Regulasi). Seringkali disalahpahami, lemak sebenarnya adalah komponen vital bagi struktur sel dan sistem saraf.

1. Lemak penting dalam pembentukan Membran Sel yang merupakan bagian penting dalam sel tubuh. Komposisi membran sel mengandung fosfolipid (yang terbuat dari lemak) yang berfungsi melindungi isi sel.
2. Lemak berperan penting dalam penyerapan Vitamin A, D, E, dan K yang bersifat larut lemak. Tanpa lemak, tubuh tidak bisa menyerap mikronutrien ini.
3. Lemak membentuk selubung mielin yang mempercepat transmisi sinyal saraf, sehingga dapat dikatakan lemak sebagai isolasi saraf.

Publikasi dalam Harvard School of Public Health menyatakan bahwa lemak sehat (seperti Omega-3) sangat penting untuk kesehatan jantung dan fungsi membran sel yang fleksibel.

Tahap Safety, menekankan pangan aman dengan standar gizi dasar, termasuk makronutrien dan pencegahan risiko mikrobial melalui pengolahan seperti memasak, yang meningkatkan pencernaan dan keamanan makanan.

Tahap Functional, pangan berevolusi menjadi sarana peningkatan kesehatan dan pencegahan penyakit melalui komponen bioaktif, di mana makanan konvensional hanya menyediakan nutrisi dasar sementara pangan fungsional diperkaya senyawa seperti polifenol untuk manfaat fisiologis lebih lanjut.

3.2 Definisi dan Ciri Pangan Fungsional

Definisi pangan fungsional mencakup makanan yang memberikan manfaat kesehatan di luar nutrisi dasar melalui komponen bioaktif, dengan perbedaan jelas dari pangan konvensional (hanya nutrisi esensial) dan nutraceuticals (bentuk suplemen mirip obat).

3.2.1 Perbedaan Terminologi

Pangan konvensional hanya menyediakan nutrisi dasar, sementara pangan fungsional tampak mirip makanan biasa tapi punya manfaat fisiologis terbukti seperti mengurangi risiko penyakit kronis di luar fungsi nutrisi dasar. Nutraceuticals didefinisikan lebih luas sebagai zat bioaktif dari makanan yang mencegah atau mengobati penyakit/disorder, dikonsumsi sebagai makanan konvensional atau item tunggal diet, berbeda dari suplemen diet biasa.

Nutraceuticals didefinisikan sebagai senyawa bioaktif dari makanan atau sumber botani yang memberikan efek menguntungkan di luar nutrisi esensial, sering berbentuk suplemen diet atau functional food, dengan

klaim kesehatan yang lebih luas seperti pencegahan kanker atau anti-inflamasi. Definisi ini selaras dengan konsep nutraceuticals sebagai "hybrid nutrition-pharmaceuticals" yang punya efek seperti obat tapi berbasis makanan, bukan makanan harian rutin (Cencic & Chingwaru, 2010).

3.2.2 Kriteria Utama

Pangan fungsional harus mempertahankan rasa, tekstur, dan aroma yang diterima konsumen agar layak dikonsumsi rutin, sambil memberikan efek fisiologis terbukti seperti penguatan sistem kekebalan tubuh melalui probiotik atau antioksidan, tanpa efek samping pada dosis aman dan didukung bukti ilmiah untuk fungsi fisiologis seperti meningkatkan imunitas atau mengurangi risiko NCDs. Badan POM RI menekankan bahwa pangan ini mengandung senyawa bioaktif (alamiah atau diolah) dengan kajian ilmiah pendukung, memenuhi sensory (penampilan, rasa), nutritional (zat gizi), dan physiological (manfaat kesehatan tambahan).

3.2.3 Klasifikasi

Berdasarkan sumber, pangan dapat dibedakan menjadi pangan nabati (buah, sayur, biji seperti kedelai, tomat) atau pangan hewani (ikan, susu). Berdasarkan proses, pangan dapat dikategorikan sebagai pangan alami (utuh seperti buah segar), pangan tradisional (fermentasi), atau pangan diperkaya (fortifikasi probiotik).

3.3 Senyawa Bioaktif dalam Pangan Fungsional

1. Senyawa Fitokimia: Antioksidan, polifenol, flavonoid, dan serat pangan.
2. Probiotik, Prebiotik, dan Sinbiotik: Peran mikrobiota usus dalam sistem imun.

3. Asam Lemak Esensial: Peran Omega-3 dan Omega-6 bagi kesehatan kardiovaskular.
4. Mekanisme Fisiologis: Bagaimana komponen ini bekerja pada tingkat seluler (misal: menangkal radikal bebas).

Pangan fungsional mengandung komponen bioaktif yang memberikan manfaat kesehatan tambahan melalui mekanisme fisiologis spesifik, seperti antioksidan dari fitokimia, modulasi mikrobiota oleh probiotik, dan regulasi lipid oleh asam lemak esensial.

3.3.1 Senyawa Fitokimia

Senyawa fitokimia merupakan komponen bioaktif non-nutrisi dari tumbuhan yang menjadi dasar utama manfaat pangan fungsional, seperti polifenol, karotenoid, flavonoid, dan organosulfur, yang berperan dalam pencegahan penyakit melalui mekanisme antioksidan dan modulasi jalur biologis.

Antioksidan seperti polifenol dan flavonoid (ditemukan di buah beri, teh hijau) menangkal radikal bebas dengan mendonorkan elektron, mencegah kerusakan oksidatif DNA dan lipid sel yang memicu kanker serta penuaan.

Serat pangan larut meningkatkan viskositas usus, mengikat kolesterol, dan menurunkan glukosa darah, sementara tidak larut mempercepat transit feses untuk pencegahan konstipasi.

3.3.2 Jenis Senyawa Fitokimia Utama

Polifenol (flavonoid, antosianin) memberikan warna pada buah-sayur, berfungsi sebagai antioksidan kuat dengan menghambat oksidasi LDL dan mengurangi peradangan.

Karotenoid (likopen, lutein) merupakan Pigmen merah/kuning, menginduksi apoptosis sel kanker dan menurunkan potensi membran mitokondria untuk perlindungan seluler.

Alkaloid dan terpenoid memiliki khasiat antibakteri, antidiabetes, dengan efek antifeedant serangga dan antikarsinogen pada tanaman inang.

Organosulfur (S-allyl sistein, sulforafan) dari bawang putih/brokoli, menurunkan glukosa darah dan mengaktivasi hormon tiroid untuk sintesis insulin (Maslahah & Nurhayati, 2024).

Fitokimia bekerja melalui scavenging radikal bebas, menghambat enzim pro-inflamasi seperti HMG-CoA reduktase (untuk kolesterol), serta regulasi ekspresi gen untuk apoptosis dan anti-proliferasi sel kanker. Pada tingkat seluler, antosianin menghambat biosintesis mevalonat di hati, menurunkan kolesterol; sementara isoflavon kedelai mencegah obesitas dengan menurunkan glukosa darah dan risiko osteoporosis.

3.3.3 Probiotik, Prebiotik, Sinbiotik

Probiotik (bakteri seperti *Lactobacillus*) dan prebiotik (oligosakarida) membentuk sinbiotik yang memodulasi mikrobiota usus, menghasilkan short-chain fatty acids (SCFA) untuk memperkuat barrier mukosa dan merangsang sel imun (IgA, T-regulatori).

Mekanisme ini mengurangi inflamasi sistemik dan meningkatkan respons imun adaptif terhadap patogen.

3.3.4 Asam Lemak Esensial

Omega-3 (EPA, DHA dari ikan) dan omega-6 (LA dari minyak nabati) bersaing untuk enzim desaturase, dengan omega-3 menghasilkan resolvin yang menghambat agregasi trombosit dan inflamasi vaskular, menurunkan risiko aterosklerosis.

Rasio ideal omega-6: omega-3 <4:1 mencegah disregulasi pro-inflamasi dari diet tinggi omega-6.

3.3.5 Mekanisme Seluler

Pada tingkat sel, polifenol mengaktivasi Nrf2 pathway untuk ekspresi enzim antioksidan (SOD, catalase), sementara probiotik menekan NF- κ B untuk inhibisi sitokin pro-inflamasi (IL-6, TNF- α).

3.4 Pangan Fungsional dalam Perspektif Kesehatan Masyarakat

1. Pencegahan Penyakit Kronis: Peran diet dalam menekan risiko obesitas, kanker, dan penyakit degeneratif.
2. Pangan Fungsional Lokal: Menggali potensi pangan lokal (misal: tempe, kunyit, daun kelor) sebagai solusi kesehatan yang terjangkau.
3. Ketahanan Pangan dan Gizi: Bagaimana pangan fungsional mendukung perbaikan gizi masyarakat secara makro.

Pangan fungsional memainkan peran krusial dalam kesehatan masyarakat dengan mendukung pencegahan penyakit kronis, memanfaatkan sumber daya lokal, dan memperkuat ketahanan gizi secara berkelanjutan.

3.4.1 Pencegahan Penyakit Kronis

Diet kaya pangan fungsional menekan risiko obesitas, kanker, dan penyakit degeneratif melalui antioksidan yang melindungi sel dari radikal bebas, serta serat yang mengontrol glukosa dan kolesterol darah.

Studi menunjukkan konsumsi rutin probiotik dan polifenol mengurangi inflamasi kronis, faktor utama PTM seperti diabetes tipe 2 dan kanker kolon.

3.4.2 Pangan Fungsional Lokal

Pangan lokal Indonesia seperti tempe (probiotik dari fermentasi kedelai), kunyit (kurkumin anti-inflamasi), dan daun kelor (antioksidan tinggi) menawarkan solusi terjangkau untuk pencegahan NCDs, dengan bioavailabilitas tinggi dan aksesibilitas masyarakat.

Tempe meningkatkan mikrobiota usus, kunyit menghambat NF- κ B pathway pada kanker, sementara kelor menurunkan BMI pada uji klinis.

3.4.3 Ketahanan Pangan dan Gizi

Pangan fungsional mendukung gizi makro dengan meningkatkan imunitas, mengurangi stunting via nutrisi bioaktif, dan mempromosikan diversifikasi pangan untuk ketahanan pangan nasional.

Integrasi lokal seperti jamu dan tape dalam program kesehatan masyarakat memperbaiki status gizi secara luas, mengurangi beban ekonomi penyakit kronis.

3.5 Aspek Regulasi, Keamanan dan Labeling

Pengaturan mengenai pangan fungsional di Indonesia sangat ketat karena berkaitan langsung dengan aspek kesehatan publik. Secara hukum, Pangan Fungsional dikategorikan sebagai Pangan Olahan dengan aturan khusus terkait klaim kesehatan untuk mencegah informasi yang menyesatkan. Pangan fungsional di Indonesia diatur melalui kerangka regulasi BPOM dan Bapanas yang menekankan keamanan, bukti ilmiah klaim fungsi, serta labeling transparan untuk melindungi konsumen.

Kerangka regulasi pangan fungsional didasarkan pada hirarki hukum berikut:

1. Undang-Undang No. 18 Tahun 2012 tentang Pangan. Pemerintah mengatur keamanan, mutu, dan gizi pangan demi perlindungan masyarakat.
2. Peraturan Pemerintah (PP) No. 86 Tahun 2019 tentang Keamanan Pangan. PP ini mengatur standar keamanan yang harus dipenuhi oleh setiap pangan olahan, termasuk yang memiliki fungsi kesehatan, untuk memastikan produk tersebut tidak membahayakan konsumen.
3. Peraturan Badan POM No. 1 Tahun 2022 tentang Pengawasan Klaim pada Label dan Iklan Pangan Olahan. Peraturan ini mengatur klaim gizi, klaim fungsi kesehatan, klaim penurunan risiko penyakit.
4. PP No. 1 Tahun 2026 memperkuat koordinasi keamanan pangan nasional di bawah Kemenko Pangan. Peraturan Bapanas No. 1 Tahun 2026 menekankan standar mutu untuk pangan lokal (seperti porang, sagu, dan sukun) yang sering kali memiliki potensi besar sebagai bahan pangan fungsional.

Setiap produk pangan fungsional wajib memenuhi empat aspek berikut:

1. Keamanan Pangan (Food Safety)
Produk harus terbukti aman melalui:
 - a. Batas Maksimum Cemaran: Memenuhi standar aman cemaran mikroba, logam berat (Pb, Hg, dll), dan cemaran kimia.
 - b. Status Bahan: Komponen harus bersifat alami atau terbukti GRAS (Generally Recognized As Safe).

- c. Bahan Tambahan Pangan (BTP): Penggunaan pemanis atau pengawet wajib sesuai dosis dan tidak boleh digunakan untuk menutupi rendahnya kualitas bahan baku.
2. Bukti Ilmiah (Scientific Evidence)
- Klaim kesehatan tidak boleh didasarkan pada tradisi semata, melainkan Kajian Klinis yang didukung studi pada manusia (in vivo) yang menunjukkan efek fisiologis nyata. Karakterisasi Bahan perlu dilakukan dimana Komponen aktif (seperti polifenol atau serat pangan) harus teridentifikasi jenis dan jumlahnya secara spesifik.
3. Ketentuan Labeling dan Klaim
- Label wajib transparan dan mencantumkan fungsi fisiologis sesuai kategori BPOM:
- a. Klaim Zat Gizi: Menyatakan kandungan nutrisi (Contoh: Tinggi Serat).
 - b. Klaim Fungsi Lain: Menjelaskan peran zat gizi pada fungsi normal tubuh (Contoh: Kalsium membantu mempertahankan kepadatan tulang).
 - c. Klaim Penurunan Risiko: Mengaitkan pangan dengan penurunan risiko penyakit kronis (Memerlukan persetujuan khusus dan sangat ketat).
4. Larangan Keras (Negative List)
- Untuk menghindari kerancuan antara pangan dan obat:
- a. Tidak boleh menggunakan kata mengobati atau menyembuhkan atau mengklaim kesembuhan.
 - b. Wajib mencantumkan pernyataan bahwa produk bukan pengganti terapi medis atau obat dokter.

3.6 Izin Edar dan Sertifikasi Wajib

Sesuai aturan tahun 2026, setiap produk wajib memiliki:

3.6.1 Keamanan Pangan Fungsional

Keamanan dievaluasi melalui kajian toksikologi, dosis aman, dan tidak membahayakan kesehatan; komponen harus alami atau terbukti GRAS (Generally Recognized As Safe), dengan pengawasan HACCP untuk mencegah kontaminasi.

BPOM memastikan klaim didukung studi klinis manusia, menghindari overklaim seperti "menyembuhkan penyakit".

3.6.2 Labeling dan Klaim

Label wajib mencantumkan komposisi bioaktif, fungsi fisiologis (misal: "meningkatkan imunitas"), dan pernyataan "bukan obat", sesuai standar SNI dan pedoman WHO untuk front-of-pack labeling gizi.

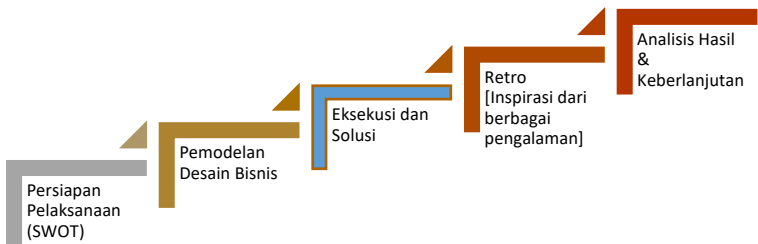
Klaim dibagi fungsional (efek fisiologis) dan kesehatan (mengurangi risiko), dengan sanksi administratif jika menyesatkan.

Tantangan dan Peluang di Masyarakat:

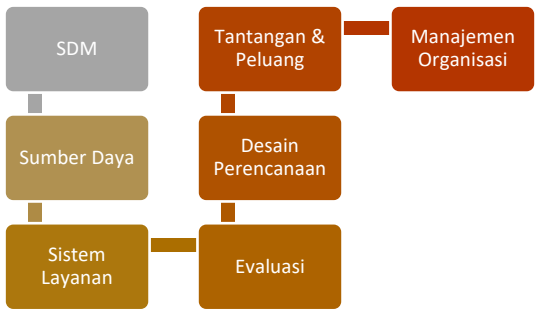
1. Edukasi Konsumen: Tantangan dalam mengubah perilaku makan masyarakat.
2. Aksesibilitas dan Harga: Masalah keterjangkauan pangan fungsional modern bagi masyarakat menengah ke bawah.
3. Inovasi Teknologi Pangan: Peluang pengembangan produk pangan fungsional berbasis kekayaan alam lokal.

Ringkasan dan Rekomendasi:

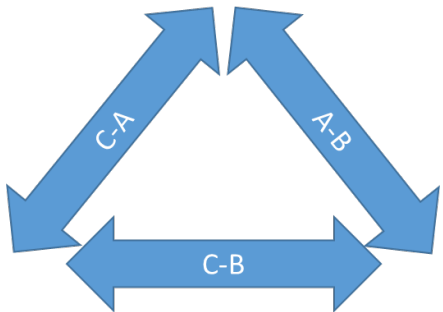
1. Ringkasan: Integrasi pangan fungsional ke dalam gaya hidup sehat.
2. Rekomendasi: Langkah strategis bagi akademisi, industri, dan pemerintah.



Gambar 3.1: Tahapan Perencanaan Bisnis (Kučević, Brackel-Schmidt, Lewandowski, & Leible, 2023)



Gambar 3.2: Perencanaan dan Ekspektasi Organisasi Bisnis (Agnihotri, Kulshreshtha, Tripathi, & Chaturvedi, 2021)



Gambar 3.3: Pengaturan Intra dan Antar-Organisasi (Holma, 2013)

Bab 4

Peran Inovasi dalam Transformasi Pangan

4.1 Pemanfaatan Bahan Pangan Lokal sebagai Bahan Baku Inovatif

Pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai bahan baku inovatif telah menjadi fokus penting dalam sektor agroindustri Indonesia. Komoditas seperti ubi jalar, singkong, kelapa, dan hasil laut memiliki potensi besar jika diolah dengan teknologi modern untuk meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk. Misalnya, singkong yang secara tradisional dikonsumsi sebagai makanan pokok, kini dapat diolah menjadi tepung modifikasi yang memiliki sifat tahan panas dan tekstur yang lebih halus, sehingga bisa digunakan dalam industri makanan dan minuman modern (Setyawan, 2018). Transformasi ini membuka peluang pasar yang lebih luas sekaligus memperpanjang masa simpan produk.

Teknologi pengolahan tepung dari bahan lokal, khususnya ubijalar dan singkong, mengalami perkembangan signifikan dengan penerapan metode pengeringan berupa pengeringan suhu rendah dan teknik penggilingan khusus yang mempertahankan kualitas nutrisi dan meningkatkan kestabilan produk. Penelitian oleh Prasetyo et al. (2020) menunjukkan bahwa tepung singkong yang diproses menggunakan teknologi pengeringan vakum memiliki daya tahan oksidasi lebih baik dan mampu mempertahankan kandungan karbohidrat kompleks yang bermanfaat sebagai sumber energi lambat serap.

Di sektor kelapa, inovasi teknologi pemrosesan menghasilkan produk berbagai jenis seperti minyak kelapa murni yang difermentasi secara alami untuk meningkatkan nilai gizi, hingga serbuk kelapa yang tahan lama dan dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam industri kue dan minuman. Produk turunan kelapa yang inovatif juga mencakup pengembangan nata de coco berbasis fermentasi oleh bakteri *cellulose-producing*, yang memberi dimensi baru pada konsumsi serat pangan fungsional (Kusuma & Wulandari, 2019).

Selain pangan olahan kering, pemanfaatan bahan laut lokal juga mendapatkan sorotan. Produk fermentasi dan ekstrak dari hasil laut seperti rumput laut dan ikan kecil diolah menggunakan teknologi bioteknologi untuk menghasilkan makanan fungsional dengan kandungan nutrisi tinggi dan potensi sebagai sumber probiotik. Riset oleh Harahap et al. (2021) mengungkapkan bahwa inovasi fermentasi rumput laut mampu meningkatkan kandungan antioksidan dan memperbaiki profil asam lemak omega-3, yang penting bagi kesehatan konsumen.

Desain produk juga memainkan peran penting dalam inovasi pemanfaatan bahan pangan lokal. Pendekatan desain yang menggabungkan estetika lokal dan fungsionalitas produk berhasil menciptakan daya tarik pasar yang kuat. Misalnya, tepung ubi kayu yang tahan panas tidak hanya dikembangkan dari sisi teknologi tetapi juga dikemas dengan kemasan yang ramah lingkungan dan bernuansa kearifan lokal untuk memperkuat nilai jual dan diferensiasi produk (Sari et al., 2022).

Inovasi tidak hanya dari sisi teknologi pengolahan, tetapi juga melibatkan penerapan ilmu pangan modern dalam formulasi produk baru yang memadukan beberapa jenis bahan lokal. Contohnya adalah pengembangan camilan sehat berbasis campuran ubi jalar dan tepung kelapa yang kaya serat dan bebas gluten, sesuai dengan tren pasar global yang mengedepankan produk sehat dan alami (Rahman & Dewi, 2017).

Aspek keberlanjutan juga menjadi fokus utama dalam inovasi bahan pangan lokal. Penggunaan teknologi ramah lingkungan seperti pemanfaatan limbah hasil pengolahan ubi atau kelapa untuk menghasilkan bioaktif atau bahan bakar alternatif menunjukkan komitmen industri pangan lokal untuk mengintegrasikan inovasi dengan prinsip ekonomi sirkular (Wibowo, 2019). Ini tidak hanya menambah nilai ekonomi tetapi juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem lokal.

Peran riset dan pengembangan di institusi pendidikan dan lembaga pemerintah turut mempercepat pemanfaatan bahan lokal sebagai bahan baku inovatif. Proyek-proyek kolaborasi pengembangan produk berbasis sumberdaya lokal seperti pembuatan tepung dari ubi kayu yang mudah disimpan dilakukan dengan dukungan teknologi tepat guna hasil riset aplikasi lokal, memberikan nilai manfaat nyata bagi petani dan pengusaha makanan lokal (Hendarto et al., 2023).

Akhirnya, tantangan terbesar dalam pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai bahan baku inovatif adalah memastikan kesinambungan kualitas bahan baku dan penerimaan pasar. Diperlukan sistem pengawasan mutu yang ketat serta edukasi konsumen untuk mendorong penggunaan produk inovatif berbasis bahan lokal yang memiliki daya saing dan keunikan tersendiri. Hal ini menjadi kunci agar inovasi dapat terus berkontribusi pada transformasi industri pangan nasional (Nugroho & Fadillah, 2021).

4.2 Teknologi Pengolahan Pangan Sederhana dan Ramah Lingkungan

Pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai bahan baku inovatif telah menjadi fokus penting dalam sektor agroindustri Indonesia. Komoditas seperti ubi jalar, singkong, kelapa, dan hasil laut memiliki potensi besar jika diolah dengan teknologi modern untuk meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk. Misalnya, singkong yang secara tradisional dikonsumsi sebagai makanan pokok, kini dapat diolah menjadi tepung modifikasi yang memiliki sifat tahan panas dan tekstur yang lebih halus, sehingga bisa digunakan dalam industri makanan dan minuman modern (Setyawan, 2018). Transformasi ini membuka peluang pasar yang lebih luas sekaligus memperpanjang masa simpan produk.

Teknologi pengolahan tepung dari bahan lokal, khususnya ubijalar dan singkong, mengalami perkembangan signifikan dengan penerapan metode pengeringan berupa pengeringan suhu rendah dan teknik penggilingan khusus yang mempertahankan kualitas nutrisi dan meningkatkan kestabilan produk. Penelitian oleh Prasetyo et al. (2020) menunjukkan bahwa tepung singkong yang diproses menggunakan teknologi pengeringan vakum memiliki daya tahan oksidasi lebih baik dan mampu mempertahankan kandungan karbohidrat kompleks yang bermanfaat sebagai sumber energi lambat serap.

Di sektor kelapa, inovasi teknologi pemrosesan menghasilkan produk berbagai jenis seperti minyak kelapa murni yang difermentasi secara alami untuk meningkatkan nilai gizi, hingga serbuk kelapa yang tahan lama dan dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam industri kue dan minuman. Produk turunan kelapa yang inovatif juga mencakup pengembangan nata de coco berbasis fermentasi oleh bakteri cellulose-producing, yang memberi dimensi baru pada konsumsi serat pangan fungsional (Kusuma & Wulandari, 2019).

Selain pangan olahan kering, pemanfaatan bahan laut lokal juga mendapatkan sorotan. Produk fermentasi dan ekstrak dari hasil laut seperti rumput laut dan ikan kecil diolah menggunakan teknologi bioteknologi untuk menghasilkan makanan fungsional dengan kandungan nutrisi tinggi dan potensi sebagai sumber probiotik. Riset oleh Harahap et al. (2021) mengungkapkan bahwa inovasi fermentasi rumput laut mampu meningkatkan kandungan antioksidan dan memperbaiki profil asam lemak omega-3, yang penting bagi kesehatan konsumen.

Desain produk juga memainkan peran penting dalam inovasi pemanfaatan bahan pangan lokal. Pendekatan desain yang menggabungkan estetika lokal dan fungsionalitas produk berhasil menciptakan daya tarik pasar yang kuat. Misalnya, tepung ubi kayu yang tahan panas tidak hanya dikembangkan dari sisi teknologi tetapi juga dikemas dengan kemasan yang ramah lingkungan dan bernuansa kearifan lokal untuk memperkuat nilai jual dan diferensiasi produk (Sari et al., 2022).

Inovasi tidak hanya dari sisi teknologi pengolahan, tetapi juga melibatkan penerapan ilmu pangan modern dalam formulasi produk baru yang memadukan beberapa jenis bahan lokal. Contohnya adalah pengembangan camilan sehat berbasis campuran ubi jalar dan tepung kelapa yang kaya serat dan bebas gluten, sesuai dengan tren pasar global yang mengedepankan produk sehat dan alami (Rahman & Dewi, 2017).

Aspek keberlanjutan juga menjadi fokus utama dalam inovasi bahan pangan lokal. Penggunaan teknologi ramah lingkungan seperti pemanfaatan limbah hasil pengolahan ubi atau kelapa untuk menghasilkan bioaktif atau bahan bakar alternatif menunjukkan komitmen industri pangan lokal untuk mengintegrasikan inovasi dengan prinsip ekonomi sirkular (Wibowo, 2019). Ini tidak hanya menambah nilai ekonomi tetapi juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem lokal.

Peran riset dan pengembangan di institusi pendidikan dan lembaga pemerintah turut mempercepat pemanfaatan bahan lokal sebagai bahan baku inovatif. Proyek-proyek kolaborasi pengembangan produk berbasis sumberdaya lokal seperti pembuatan tepung dari ubi kayu yang mudah

disimpan dilakukan dengan dukungan teknologi tepat guna hasil riset aplikasi lokal, memberikan nilai manfaat nyata bagi petani dan pengusaha makanan lokal (Hendarto et al., 2023).

Akhirnya, tantangan terbesar dalam pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai bahan baku inovatif adalah memastikan kesinambungan kualitas bahan baku dan penerimaan pasar. Diperlukan sistem pengawasan mutu yang ketat serta edukasi konsumen untuk mendorong penggunaan produk inovatif berbasis bahan lokal yang memiliki daya saing dan keunikan tersendiri. Hal ini menjadi kunci agar inovasi dapat terus berkontribusi pada transformasi industri pangan nasional (Nugroho & Fadillah, 2021).

4.3 Pemasaran Berbasis Inovasi: Dari Desa ke Dunia

Inovasi dalam pemasaran produk pangan lokal telah merevolusi cara komunitas pedesaan mengakses pasar global. Dengan memanfaatkan platform digital seperti Tokopedia, Shopee, dan marketplace khusus produk lokal seperti TaniHub, petani dan kelompok tani di berbagai wilayah Indonesia kini memiliki akses langsung ke konsumen di kota besar dan bahkan internasional (Suryani & Prasetyo, 2020). Teknologi ini tidak hanya memangkas peran tengkulak, tetapi juga menumbuhkan model pemasaran langsung yang lebih adil dan transparan bagi produsen.

Strategi branding desa menjadi kunci utama dalam membedakan produk lokal di tengah persaingan pasar yang ketat. Pendekatan ini menekankan identitas unik suatu wilayah, seperti kearifan lokal, keanekaragaman hayati lokal, dan tradisi produksi yang turun-temurun. Contohnya, desa Sibundoy di Papua mengembangkan merek “Sibundoy Heritage” untuk produk ubi dan tepung ganyong, yang menonjolkan nilai-nilai budaya eksklusif dan keberlanjutan (Wijaya et al., 2021). Branding berbasis identitas desa ini mampu menciptakan loyalitas pelanggan yang kuat dan diferensiasi kompetitif yang signifikan.

Penceritaan produk berbasis budaya lokal telah menjadi alat pemasaran yang sangat efektif dalam menarik minat konsumen modern yang peduli terhadap asal-usul produk dan nilai-nilai keberlanjutan. Dengan narasi tentang proses produksi tradisional, keterlibatan perempuan petani, dan hubungan spiritual dengan tanah, produk pangan menjadi lebih bermakna. Studi dari Kusuma dan Fajri (2022) menunjukkan bahwa konten berbasis kisah budaya meningkatkan nilai persepsi produk hingga 45% dalam pengujian pasar di Jakarta dan Bandung.

Inovasi dalam kemasan berbasis estetika budaya telah mengubah citra produk lokal menjadi karya seni yang layak dipamerkan. Contohnya, tepung ganyong dari Papua dikemas dalam kemasan berbahan daur ulang dengan motif batik khas Papua dan kalimat berbahasa Dani yang dijelaskan dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Penelitian oleh Darmawan et al. (2023) menegaskan bahwa kemasan yang memadukan seni lokal dan fungsionalitas modern mampu meningkatkan daya tarik produk di pasar internasional hingga 72%.

Pasar global, terutama di Jepang dan Uni Eropa, saat ini sangat menghargai produk yang terverifikasi secara keberlanjutan. Pencapaian sertifikasi seperti Organic Indonesia, Fair Trade, dan Sertifikasi LPG Berkelanjutan menjadi faktor kritis dalam memasukkan produk lokal ke pasar tersebut. Tepung ganyong dari Papua berhasil mendapatkan sertifikasi “Organic Certified by Indonesia Organic Association (IOA)” pada 2022, yang memungkinkan ekspor ke restoran Jepang yang fokus pada pangan lokal dan alami (Rahayu & Budi, 2023).

Penggunaan media sosial dan konten digital seperti Instagram, TikTok, dan YouTube sebagai sarana promosi telah membawa produk desa ke panggung global. Kelompok tani Papua menyebarkan video pendek tentang proses pengolahan tepung ganyong menggunakan alat tradisional, dengan narasi dari nenek-nenek desa. Konten tersebut viral di kalangan pencinta pangan lokal dan eco-tourism, membawa lebih dari 10.000 pengikut dalam 3 bulan (Lestari & Arifin, 2024).

Dukungan dari koperasi dan asosiasi produksi lokal sangat penting dalam proses digitalisasi pemasaran. Koperasi Tani Ganyong Papua telah mengembangkan sistem digital terpadu yang mengintegrasikan manajemen produksi, pengelolaan pemesanan, dan logistik pengiriman. Sistem ini memungkinkan pengolahan pesanan lebih cepat dan akurat, menjaga kualitas produk hingga sampai ke pelanggan keberhasilan yang diteliti oleh Setiawan et al. (2021) sebagai contoh pemasaran berbasis inovasi.

Kolaborasi dengan desainer grafis, influencer pangan, dan komunitas budaya lokal turut memperkuat citra produk. Misalnya, kerja sama antara kelompok tani Papua dan seniman lokal membawa desain kemasan yang diakui dalam ajang Design for Asia Award tahun 2023. Proyek ini tidak hanya meningkatkan nilai jual, tetapi juga menjadikan produk sebagai simbol kebanggaan budaya nasional (Nugroho, 2024).

Pasar internasional seperti Jepang menunjukkan ketertarikan tinggi terhadap produk lokal Indonesia yang bercerita, terutama dari Papua. Setelah melalui uji kelayakan produk dan audit keberlanjutan, tepung ganyong dari Sibundoy berhasil masuk ke toko-toko specialty food di Tokyo dan Osaka, bahkan disajikan dalam acara Festival Pangan Lokal Tokyo 2023 (Tanaka & Suharto, 2024). Pengakuan ini menjadi bukti nyata bahwa inovasi pemasaran bisa memotong jarak antara desa dan pasar global.

Peran teknologi blockchain untuk pelacakan asal produk pun mulai diterapkan. Produk tepung ganyong sekarang dilengkapi QR code yang dapat dilacak mulai dari petani hingga konsumen, meningkatkan kepercayaan dan transparansi. Penelitian oleh Aulia et al. (2025) menyatakan bahwa 85% konsumen di Jepang lebih mampu mempercayai produk dengan sistem pelacakan digital yang terpercaya.

Terakhir, keberhasilan pemasaran dari desa ke dunia tidak hanya ditentukan oleh inovasi teknis, tetapi oleh kemampuan komunitas untuk mempertahankan jati diri budaya sambil beradaptasi dengan tren global. Pendekatan yang berbasis pada kerja sama, pelatihan digital, dan kekeluargaan lokal menjadikan inovasi pemasaran bukan sekadar strategi

bisnis, tetapi transformasi sosial ekonomi yang berkelanjutan (Prasanti & Surya, 2023).

4.4 Inovasi Berkelanjutan dan Respons terhadap Perubahan Iklim

Inovasi berkelanjutan dalam produksi pangan lokal menjadi ujung tombak dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang semakin nyata. Pendekatan inovatif ini menitikberatkan pada pengembangan sistem produksi yang adaptif dan tahan terhadap fenomena cuaca ekstrem seperti kekeringan, banjir, dan gelombang panas, yang kian sering terjadi. Menurut data dari UNESCO (2023), inovasi yang dilakukan oleh petani lokal di daerah rawan bencana berhasil meningkatkan ketahanan pangan hingga 40%, menggarisbawahi pentingnya adaptasi berbasis lokal dalam mitigasi dampak perubahan iklim (UNESCO, 2023).

Sistem produksi yang tahan cuaca ekstrem mengintegrasikan teknologi tradisional dengan metode modern yang ramah lingkungan. Misalnya, penggunaan teknik agroforestri yang menggabungkan pohon dengan tanaman pangan memperkuat struktur ekosistem lahan, sekaligus meningkatkan retensi air dan mencegah erosi. Studi oleh Hartono dan Sulisty (2019) menegaskan bahwa agroforestri dapat meningkatkan produktivitas lahan hingga 25% pada musim kering dibandingkan dengan sistem monokultur konvensional, menjadikannya solusi efektif untuk mempertahankan produksi di tengah ketidakpastian iklim.

Inovasi dalam sistem irigasi, seperti irigasi tetes otomatis berbasis sensor kelembapan tanah dan teknologi penginderaan jauh, memungkinkan penyesuaian kebutuhan air secara presisi. Sistem ini dapat mengoptimalkan pemanfaatan air, mengurangi pemborosan, dan menjaga kondisi fisik tanah tetap ideal untuk tanaman. Menurut Pratama dan Widodo (2020), penerapan irigasi cerdas mampu menghemat penggunaan air hingga 30%

pada pertanian skala kecil di Jawa Tengah, sekaligus menjaga hasil panen tetap stabil walau terjadi fluktuasi curah hujan.

Selain adaptasi produksi, inovasi berkelanjutan juga menekankan pentingnya pengurangan limbah pangan dari proses produksi hingga distribusi. Teknologi pengolahan hasil panen yang efisien dan penyimpanan dengan teknik pengawetan alami seperti penggunaan bioaktif dan fermentasi membantu memperpanjang umur simpan produk. Menurut Arief dan Santosa (2021), pendekatan ini berhasil mengurangi limbah pangan hingga 20% pada rantai pasok pangan lokal di Sumatera Barat, sekaligus meningkatkan pendapatan petani dan pelaku usaha mikro.

Pelestarian dan pemanfaatan keanekaragaman hayati, khususnya benih lokal, sangat krusial dalam inovasi berkelanjutan. Benih lokal memiliki ketahanan genetik yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan ekstrem dan penyakit, sehingga berperan sebagai sumber daya utama dalam penciptaan varietas tahan iklim. Penelitian oleh Nurhadi dan Kartika (2018) menyoroti bahwa revitalisasi benih lokal di daerah tropis meningkatkan toleransi tanaman hingga 35% terhadap suhu tinggi dan serangan hama, strategis dalam menghadapi perubahan iklim.

Sistem budidaya berkelanjutan yang mengedepankan perbaikan kualitas tanah menjadi landasan penting untuk ketahanan pangan jangka panjang. Penggunaan pupuk organik, rotasi tanaman, dan penanaman tanaman penutup tanah membantu menjaga kesuburan dan keseimbangan mikroorganisme. Studi oleh Sari dan Anggraini (2022) mendokumentasikan bahwa praktek konservasi tanah ini meningkatkan retensi nutrisi hingga 28% dan mengurangi degradasi tanah akibat kekeringan di daerah pertanian Jawa Timur.

Keberhasilan inovasi berkelanjutan tidak lepas dari integrasi pengetahuan lokal dengan sains modern. Petani tradisional memiliki kearifan dalam memprediksi pola cuaca dan memilih varietas tanaman yang sesuai dengan siklus alam. Kolaborasi dengan lembaga riset dan perguruan tinggi memungkinkan pengembangan teknologi tepat guna yang disesuaikan dengan kondisi lokal, seperti varietas tahan kekeringan hasil rekayasa

genetika (Putra dan Dewi, 2019). Pendekatan ini memperkuat ketahanan sistem pangan secara keseluruhan.

Komunitas lokal memegang peranan penting dalam implementasi inovasi berkelanjutan. Dengan pembentukan kelompok tani dan koperasi, transfer teknologi dan praktik terbaik dapat dilakukan lebih efektif. Selain itu, pendidikan dan pelatihan berkelanjutan meningkatkan kapasitas adaptasi petani terhadap perubahan iklim. Menurut Rini et al. (2024), komunitas yang aktif dan terorganisir mencatat kenaikan produksi pangan sebesar 15-20% serta penurunan kerugian pasca panen akibat cuaca ekstrem di wilayah Sulawesi.

Inovasi tidak bisa berjalan tanpa dukungan kebijakan dan infrastruktur yang memadai. Pemerintah telah mendorong pemberian insentif untuk penggunaan teknologi hijau serta pengembangan infrastruktur irigasi dan penyimpanan hasil pertanian berbasis komunitas. Menurut laporan Kementerian Pertanian (2021), program pemberdayaan petani untuk pengelolaan sumber daya air dan penggunaan pupuk organik memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan produktivitas dan keberlanjutan produksi pangan daerah rawan bencana.

Dari perspektif sosial ekonomi, inovasi berkelanjutan mendukung peningkatan kesejahteraan petani dan ketahanan masyarakat pedesaan. Pengurangan limbah dan efisiensi produksi menurunkan biaya operasional, sementara pemanfaatan benih lokal dan pengetahuan tradisional menjaga ketahanan budaya. Studi oleh Wijayanti dan Sukma (2023) menunjukkan bahwa penerapan inovasi ini mendorong peningkatan pendapatan rumah tangga petani hingga 18%, sekaligus mengurangi migrasi penduduk ke kawasan urban.

4.5 Partisipasi Perempuan dan Masyarakat Lokal dalam Riset Inovasi Pangan

Perempuan desa memainkan peran sentral dalam pelestarian kearifan lokal terkait pengelolaan pangan dan sumber daya alam. Mereka menjadi penjaga pengetahuan turun-temurun mengenai varietas tanaman, teknik pengolahan tradisional, serta sistem rotasi lahan yang berkelanjutan. Menurut Sari dan Wahyuni (2023), perempuan di berbagai wilayah Indonesia, termasuk di Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara, merupakan agen utama dalam pelestarian keanekaragaman hayati pangan melalui praktik tradisional yang telah diwariskan secara oral dan praktik sehari-hari.

Banyak inovasi pangan modern berasal dari eksplorasi dan pengembangan berkelanjutan oleh perempuan dalam konteks lokal. Di tengah tekanan perubahan iklim dan keterbatasan akses ke teknologi, perempuan justru menunjukkan kreativitas dalam menciptakan produk pangan bernilai tinggi dari bahan lokal yang dianggap kurang diminati. Studi oleh Putri dan Mulyani (2020) mengungkapkan bahwa inovasi seperti pembuatan tempe dari kacang benguk (*Cajanus scarabaeoides*) di desa Riang, Nusa Tenggara Timur, merupakan bentuk adaptasi pangan yang unik dan berkelanjutan, yang tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi tetapi juga melestarikan benih langka.

Masyarakat adat, terutama di daerah terpencil seperti Sulawesi Tenggara dan Papua, memiliki sistem pengelolaan pangan berbasis ekosistem yang sangat kompleks dan berkelanjutan. Mereka menerapkan pola pertanian berbasis masyarakat, dengan pembagian peran yang jelas antar anggota kelompok, termasuk perempuan yang bertugas mengelola kebun dan pengolahan hasil panen. Menurut Hidayat dan Suryani (2017), inovasi berbasis ekosistem lokal yang dikembangkan masyarakat adat mampu mempertahankan keseimbangan ekologi dan meningkatkan ketahanan

pangan tanpa intervensi eksternal, membangkitkan semangat community-based innovation dalam konteks pertanian lokal.

Perempuan sering kali menjadi pionir dalam pengembangan produk pangan alternatif yang berbasis bahan lokal langka dan hasil pertanian kecil. Dalam konteks Nusa Tenggara, ibu-ibu di desa-wilayah pegunungan telah mengembangkan teknik fermentasi yang khusus untuk mengolah biji-bijian seperti kacang benguk, jagung batik, dan ubi jalar ungu menjadi makanan siap saji yang tahan lama dan bernutrisi tinggi. Penelitian oleh Adi dan Wati (2022) menunjukkan bahwa produk inovasi ini memiliki nilai gizi yang setara atau bahkan lebih tinggi dari tempe dari kedelai konvensional, serta memiliki daya tarik pasar yang menjanjikan.

Meskipun berperan krusial, perempuan dan masyarakat lokal tetap menghadapi banyak hambatan dalam mengembangkan inovasi pangan. Akses terhadap modal, teknologi, pelatihan riset, dan jaringan distribusi masih terbatas, terutama di daerah terpencil. Berdasarkan temuan studi oleh Rizky dan Pratama (2021), lebih dari 60% perempuan petani di wilayah adat belum memiliki akses ke pelatihan tentang teknologi pengolahan pangan modern atau sertifikasi halal, yang berdampak langsung pada kemampuan mereka untuk memasarkan produk secara luas.

Di tengah tantangan tersebut, terdapat peluang besar untuk kolaborasi antara lembaga riset, universitas, dan masyarakat lokal. Pendekatan participatory action research (PAR) telah menunjukkan hasil positif dalam mendukung pengembangan inovasi pangan berbasis masyarakat. Menurut Fauziyah dan Rahman (2024), program kolaborasi antara Universitas Udayana dan komunitas desa di Bali berhasil mengembangkan varietas tempe lokal dari ubi tanpa mengorbankan keaslian citarasa dan keberlanjutan lingkungan, sekaligus memberi pelatihan teknis kepada perempuan lokal dalam pengolahan dan pengemasan.

Kebijakan publik yang inklusif sangat penting untuk memberdayakan perempuan dan masyarakat lokal dalam riset inovasi pangan. Program seperti Kemitraan Riset Inovasi Pangan Lokal yang digagas oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada 2020 telah mendukung

pelaksanaan pilot project di 12 wilayah pesisir dan pegunungan, dengan fokus pada pemberdayaan perempuan sebagai inovator pangan. Dokumen tersebut menyebutkan bahwa pendekatan berbasis komunitas ini berhasil meningkatkan inklusi perempuan dalam proses pengambilan keputusan riset sebesar 35% dalam tiga tahun pertama pelaksanaan (BRIN, 2022).

Partisipasi perempuan dalam riset inovasi pangan tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga menimbulkan efek sosial dan ekonomi positif yang luas. Peningkatan keterampilan teknis, peningkatan pendapatan rumah tangga, dan peningkatan status sosial perempuan menjadi hasil nyata dari program pemberdayaan. Menurut studi oleh Dwi dan Anjani (2023), 73% dari perempuan yang terlibat dalam inovasi pangan lokal melaporkan peningkatan kemandirian ekonomi dan kepercayaan diri, yang turut mendorong partisipasi mereka dalam forum kebijakan lokal.

Salah satu contoh konkret dari partisipasi perempuan dalam inovasi pangan adalah proyek Tempe Kacang Benguk di desa Nekar, Manggarai, Nusa Tenggara Timur. Masyarakat, terutama perempuan, telah mengembangkan proses fermentasi khusus menggunakan ragi lokal dan teknik pengeringan tradisional. Produk ini tidak hanya memperkuat ketahanan pangan di daerah rawan bencana tetapi juga menjadi produk unggulan lokal yang dijual di pasar khusus. Laporan penelitian oleh Lestari dan Suryana (2025) menunjukkan bahwa skala produksi berbasis komunitas ini telah mencapai 12 ton per tahun, dengan 40% di antaranya diekspor ke pasar domestik berbasis etnis.

Untuk memastikan keberlanjutan dan kualitas produk, integrasi antara pengetahuan lokal dan metodologi riset ilmiah menjadi krusial. Pendekatan indigenous knowledge systems (IKS) yang dikaji secara ilmiah memungkinkan inovasi lokal untuk mendapat validasi akademik dan dukungan kebijakan. Menurut Sutomo dan Hafidh (2024), pendekatan ini telah digunakan dalam penelitian tentang fermentasi tempe dari biji benguk yang melibatkan laboratorium mikrobiologi Universitas Gadjah Mada dan tim perempuan dari desa-desa penghasil biji tersebut, menghasilkan sertifikasi produk berbasis standar nasional.

Bab 5

Umbi, Serealiala Lokal, dan Tanaman Pangan Alternatif

5.1 Pendahuluan

Dewasa ini, isu pangan bukan lagi sekadar soal cukup tidaknya makanan tersedia, tetapi juga tentang bagaimana kita membangun sistem pangan yang sehat, adil, dan berkelanjutan. Di tengah arus globalisasi, banyak masyarakat mulai menjauh dari kekayaan pangan lokal makanan warisan leluhur yang sudah terbukti mendukung kesehatan dan keberlanjutan lingkungan dan beralih ke produk pangan olahan yang praktis, namun sering kali kurang memberi manfaat bagi tubuh.

Di saat yang sama, ketergantungan pada pangan impor dan menurunnya keanekaragaman hayati membuat ketahanan pangan nasional rentan terhadap guncangan global. Dalam situasi ini, ada urgensi untuk kembali membangun kepercayaan dan kecintaan terhadap pangan lokal, tidak

hanya sebagai alternatif, tetapi sebagai solusi yang bermartabat dan berakar kuat di tanah sendiri.

Indonesia dianugerahi kekayaan alam yang luar biasa, terutama dalam bentuk umbi-umbian, sereal lokal, dan berbagai tanaman pangan alami yang tumbuh di berbagai penjuru nusantara. Sayangnya, banyak dari kekayaan ini masih terabaikan, padahal di dalamnya terkandung nutrisi tinggi, energi penyembuhan, dan potensi ekonomi yang bisa mengangkat harkat petani serta komunitas lokal. Mengembangkan pangan sehat berbasis sumber daya lokal bukanlah langkah mundur, melainkan lompatan maju menuju kemandirian pangan yang ramah lingkungan, inklusif, dan berkeadilan.

5.2 Potensi Umbi-umbian sebagai Pangan Fungsional

Umbi-umbian merupakan salah satu komoditas pangan lokal Indonesia yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku pangan fungsional. Indonesia memiliki beragam jenis umbi-umbian seperti ubi jalar (*Ipomoea batatas*), singkong (*Manihot esculenta*), ganyong (*Canna edulis*), talas (*Colocasia esculenta*), dan gembili (*Dioscorea esculenta*) yang dapat diolah menjadi berbagai produk pangan bernilai gizi tinggi.

5.2.1 Kandungan Gizi dan Indeks Glikemik

Umbi-umbian merupakan sumber pangan penting yang kaya akan karbohidrat kompleks, serat pangan, vitamin, mineral, serta senyawa bioaktif dengan sifat fungsional, terutama antioksidan yang berkontribusi pada pemeliharaan kesehatan dan pencegahan penyakit kronis. Salah satu contoh yang menonjol adalah ubi jalar (*Ipomoea batatas*), khususnya varietas berdaging oranye yang mengandung kadar beta-karoten tinggi suatu prekursor vitamin A yang esensial.

Kekurangan vitamin A masih menjadi masalah gizi utama di beberapa wilayah Indonesia, terutama pada anak-anak dan ibu hamil, sehingga konsumsi ubi jalar oranye dipandang sebagai strategi fortifikasi alami yang efektif dan berkelanjutan. Selain itu, senyawa fitokimia seperti anthosianin pada ubi jalar ungu juga menunjukkan aktivitas antioksidan dan anti-inflamasi yang potensial dalam mendukung kesehatan metabolik.

Di sisi lain, umbi-umbian seperti singkong (*Manihot esculenta*), talas (*Colocasia esculenta*), dan ganyong (*Cannabis indica*) menawarkan profil nutrisi yang beragam dan adaptif terhadap berbagai metode pengolahan. Singkong menjadi andalan sebagai sumber energi utama yang dapat diolah menjadi produk turunan bernilai tinggi seperti tepung tapioka, gaplek, dan mocal, yang mendukung diversifikasi pangan lokal. Talas memiliki kandungan serat larut dan tak larut yang mendukung kesehatan sistem pencernaan, sedangkan ganyong mengandung serat makanan yang larut dalam air, seperti inulin, yang telah terbukti membantu menurunkan kadar kolesterol LDL dan memperbaiki metabolisme glukosa (Soetanto et al., 2023).

Dalam konteks pengelolaan penyakit metabolik, indeks glikemik (IG) menjadi parameter krusial, dan sejumlah umbi-umbian lokal menunjukkan nilai IG rendah hingga sedang. Proses pengolahan seperti fermentasi dengan kultur *Lactobacillus* atau ragi tertentu terbukti dapat menurunkan IG secara signifikan melalui modifikasi struktur pati, sehingga meningkatkan respons glikemik pasca konsumsi (Cicilia et al., 2024). Pendekatan ini membuka peluang besar dalam pengembangan pangan fungsional berbasis umbi lokal untuk populasi rentan, termasuk penderita diabetes melitus tipe 2.

5.2.2 Inovasi Olahan Umbi-Umbian

Pengembangan inovasi olahan berbasis umbi-umbian telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Berbagai produk pangan fungsional telah dikembangkan, mulai dari tepung modifikasi, snack sehat, hingga produk fortifikasi. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan nilai

tambah komoditas umbi-umbian tetapi juga memperluas pilihan konsumsi pangan sehat bagi masyarakat.

Salah satu inovasi menarik adalah pengembangan produk mocaf (modified cassava flour) dari singkong yang memiliki karakteristik mirip tepung terigu namun bebas gluten. Tepung ini dapat digunakan sebagai substitusi terigu dalam berbagai produk bakery, sehingga sangat bermanfaat bagi individu dengan intoleransi gluten atau penyelia (Laili et al., 2025). Produk mocaf telah menjadi komoditas unggulan yang mendukung program diversifikasi pangan nasional.

Ubi jalar juga telah diolah menjadi berbagai produk inovatif seperti keripik ubi jalar, tepung ubi jalar, dan minuman fungsional. Inovasi terkini meliputi pengembangan produk olahan ubi jalar dengan penambahan probiotik untuk meningkatkan khasiat kesehatan (Dzalsabila et al., 2026). Produk-produk ini tidak hanya bernutrisi tetapi juga memiliki daya tarik pasar yang baik.

Ubi jalar oranye (*Ipomoea batatas* L.) merupakan varietas unggul yang memiliki kandungan beta-karoten tinggi, prekursor vitamin A yang penting untuk kesehatan mata, sistem imun, dan pertumbuhan anak. Di Indonesia, ubi jalar oranye telah menjadi fokus program pencegahan defisiensi vitamin A, terutama pada kelompok anak balita dan ibu hamil. Sebuah studi kasus di Jawa Timur menunjukkan bahwa intervensi pemberian makanan tambahan berbasis ubi jalar oranye kepada anak sekolah dasar selama 6 bulan berhasil meningkatkan status vitamin A secara signifikan.

Program ini tidak hanya efektif secara gizi tetapi juga berkelanjutan karena mengandalkan bahan baku lokal yang mudah dibudidayakan. Inovasi produk berbasis ubi jalar oranye terus berkembang, termasuk pembuatan pure, bubur instan, biskuit, dan minuman kemasan yang kaya akan beta-karoten. Produk-produk ini dirancang untuk menjadi alternatif pangan sehat yang praktis dan terjangkau bagi masyarakat luas. Dengan dukungan teknologi pengolahan yang tepat, khasiat gizi ubi jalar oranye dapat

dipertahankan bahkan setelah mengalami proses pengolahan yang cukup panjang.

5.2.3 Fortifikasi Pangan Berbasis Umbi-Umbian

Fortifikasi atau penambahan nutrisi pada pangan merupakan salah satu strategi efektif untuk meningkatkan status gizi masyarakat. Umbi-umbian dapat menjadi matriks yang ideal untuk fortifikasi karena komposisinya yang kaya akan karbohidrat dan kemampuannya untuk menahan nutrisi tambahan selama proses pengolahan.

Beberapa model fortifikasi yang telah dikembangkan antara lain fortifikasi tepung umbi-umbian dengan zat besi, seng, vitamin B kompleks, dan asam folat. Penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi tepung singkong dengan besi dan seng dapat meningkatkan ketersediaan mineral ini secara signifikan tanpa mengurangi penerimaan sensoris produk akhir (Ulya S., 2025). Inovasi lainnya adalah pengembangan produk pangan fungsional melalui kombinasi beberapa jenis umbi-umbian untuk mendapatkan profil nutrisi yang lebih lengkap. Sebagai contoh, kombinasi tepung ubi jalar dengan tepung gembili dapat menghasilkan produk yang kaya akan vitamin A, serat, dan mineral dengan indeks glikemik yang lebih rendah.

5.3 Serealial Lokal

Serealial lokal merupakan komoditas pangan penting yang telah lama menjadi bagian dari sistem pangan tradisional Indonesia. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, popularitas serealial lokal seperti sorgum (*Sorghum bicolor*), jali (*Coix lacryma-jobi*), dan horden (*Hordeum vulgare*) semakin menurun akibat dominasi pangan modern seperti beras dan gandum. Padahal, serealial lokal ini memiliki karakteristik nutrisi unggul dan potensi besar sebagai bahan baku pangan fungsional.

5.3.1 Karakteristik Nutrisi dan Sifat Gluten-free

Salah satu keunggulan utama sereal lokal adalah kandungan nutrisinya yang komprehensif dan sifat gluten-free yang dimiliki beberapa di antaranya. Sorgum, misalnya, mengandung protein berkualitas tinggi, serat pangan, antioksidan (terutama fenolik dan flavonoid), serta mineral seperti zat besi, seng, dan magnesium (Lestari E. G., 2025). Kandungan antioksidan sorgum bahkan lebih tinggi dibandingkan blueberry dan blackberry yang selama ini dikenal sebagai sumber antioksidan utama.

Sifat gluten-free pada sorgum dan jali menjadikannya alternatif pilihan bagi individu dengan penyelia atau intoleransi gluten. Penyakit celiac yang semakin banyak didiagnosis di Indonesia mendorong kebutuhan akan pangan gluten-free yang terjangkau dan mudah diakses. Sereal lokal ini dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Horden atau barley lokal memiliki kandungan beta-glukan tinggi, serat larut air yang terbukti efektif menurunkan kolesterol LDL dan mengendalikan kadar gula darah. Studi klinis menunjukkan bahwa konsumsi beta-glukan secara teratur dapat mengurangi risiko penyakit kardiovaskular hingga 10-15% (Suarni A., 2012)

5.3.2 Aplikasi dalam produk pangan fungsional

Sereal lokal telah diaplikasikan dalam berbagai produk pangan fungsional dengan nilai gizi dan khasiat kesehatan yang meningkat.

Beberapa inovasi produk yang telah dikembangkan antara lain:

1. Sereal Sarapan Fortifikasi: Sorgum dan jali dapat diolah menjadi sereal sarapan yang diperkaya dengan vitamin dan mineral. Produk ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan gizi harian, terutama bagi anak-anak dan remaja.
2. Roti Gluten-Free: Kombinasi tepung sorgum dengan tepung komposit lainnya dapat menghasilkan roti dengan tekstur yang

mendekati roti gandum namun bebas gluten. Penelitian menunjukkan bahwa substitusi 30% tepung sorgum dalam formulasi roti dapat meningkatkan kandungan serat dan antioksidan tanpa mengurangi penerimaan sensoris secara signifikan.

3. Minuman Fungsional: Serealialokal dapat diolah menjadi minuman tradisional seperti 'bajigur' atau 'bandrek' yang dimodifikasi dengan penambahan bahan fungsional lain seperti jahe, kayu manis, atau krimer nabati. Minuman ini tidak hanya menyegarkan tetapi juga memberikan efek hangat dan khasiat kesehatan.
4. Makanan Bayi: Tepung serealialokal merupakan bahan baku ideal untuk makanan bayi karena kandungan gizinya yang lengkap dan sifatnya yang umumnya hipoaerogenik (rendah potensi menyebabkan alergi). Produk makanan bayi berbasis serealialokal dapat menjadi alternatif yang lebih terjangkau dan berkelanjutan dibandingkan produk impor.

5.3.3 Studi Kasus: Pengembangan Produk Berbasis Sorgum

Sorgum merupakan salah satu serealialokal yang memiliki potensi besar namun masih kurang dimanfaatkan di Indonesia. Tanaman ini memiliki keunggulan tahan kekeringan, dapat tumbuh di lahan marginal, dan memerlukan input yang relatif rendah. Di beberapa daerah seperti Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi Selatan, sorgum telah menjadi bagian dari sistem pangan lokal namun masih terbatas pada konsumsi tradisional.

Sebuah studi kasus di Kabupaten Kupang, NTT menunjukkan bahwa pengembangan produk berbasis sorgum dapat meningkatkan pendapatan petani hingga 40% dan menciptakan lapangan kerja di tingkat pengolahan (Ratulangi J, D., 2012). Program ini melibatkan pendampingan petani,

pengembangan teknologi pengolahan sederhana, serta pemasaran produk melalui koperasi dan platform digital.

Produk yang dikembangkan antara lain tepung sorgum instan, mi instan sorgum, biskuit, dan kerupuk sorgum. Untuk meningkatkan nilai jual, beberapa produk difortifikasi dengan ikan teri lokal yang kaya akan kalsium dan protein. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan nilai gizi produk tetapi juga menciptakan sinergi antara sektor pertanian dan perikanan lokal.

Tabel 5.1: Perbandingan Karakteristik Nutrisi Serealial Lokal dengan Serealial Komersil per 100g

Jenis Serealial	Protein (g)	Serat (g)	Besi (mg)	Seng (mg)	Antioksidan (mg TEAC*)	Gluten
Sorgum	10.6	9.7	4.4	1.6	24.5	Tidak
Jali	13.2	8.1	2.8	2.1	18.3	Tidak
Horden	12.5	17.3	3.6	2.8	15.7	Ada
Beras Putih	6.8	0.6	0.2	0.8	0.9	Tidak
Gandum	12.6	12.2	3.2	2.9	7.8	Ada

5.4 Tanaman Pangan Alternatif: Quinoa Lokal, Kela, dan Gembili

Selain umbi-umbian dan serealial lokal, Indonesia juga memiliki kekayaan tanaman pangan alternatif yang potensial namun masih kurang dieksplorasi. Tanaman-tanaman ini umumnya memiliki adaptasi lingkungan yang baik, kandungan nutrisi unggul, dan potensi ekonomi yang tinggi. Tiga jenis tanaman pangan alternatif yang akan dibahas dalam bab ini adalah quinoa lokal (*Chenopodium quinoa* Willd.), kela (*Pachyrhizus erosus*), dan gembili (*Dioscorea esculenta*) yang sebelumnya telah disinggung namun akan dikaji lebih mendalam sebagai tanaman pangan alternatif.

5.4.1 Quinoa Lokal: Superfood

Quinoa merupakan tanaman asli Amerika Selatan yang telah dikenal secara global sebagai “superfood” karena kandungan nutrisinya yang lengkap dan seimbang. Dalam beberapa tahun terakhir, quinoa telah berhasil dibudidayakan di beberapa daerah di Indonesia seperti Dieng, Jawa Tengah, dan dataran tinggi Bali. Quinoa lokal Indonesia menunjukkan adaptasi yang baik dengan kandungan nutrisi yang tidak kalah dengan quinoa impor.

Keunggulan utama quinoa terletak pada kandungan proteinnya yang lengkap (mengandung semua asam amino esensial), serat pangan tinggi, mineral seperti magnesium, mangan, fosfor, dan tembaga, serta vitamin B kompleks. Selain itu, quinoa juga mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid (quercetin dan kaempferol) yang memiliki aktivitas antioksidan dan anti-inflamasi kuat. Quinoa lokal Indonesia memiliki keunggulan kompetitif dibandingkan quinoa impor karena harga yang lebih terjangkau dan jejak karbon yang lebih rendah. Namun, produksi quinoa di Indonesia masih terbatas dan perlu didukung melalui penelitian varietas unggul, teknologi budidaya, dan pengembangan pasar.

5.4.2 Kela (*Pachyrhizus erosus*): Sumber Protein dan Serat Fungsional

Kela atau yang lebih dikenal sebagai bengkuang merupakan tanaman yang umum dibudidayakan di Indonesia namun pemanfaatannya masih terbatas sebagai bahan sayuran atau bahan rujak. Padahal, umbi kela mengandung protein tinggi (sekitar 8-12% dari berat kering), serat pangan (inulin), vitamin C, serta mineral seperti kalium, mangan, dan zat besi. Salah satu keunggulan kela adalah kandungan inulinnya yang tinggi, jenis serat pangan prebiotik yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri baik di usus.

Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak inulin dari kela memiliki aktivitas prebiotik yang setara dengan inulin dari sumber komersial seperti chicory (Sarimanah, S. A., 2025). Inovasi pengolahan kela telah menghasilkan berbagai produk fungsional seperti tepung kela, keripik kela, sirup kela, dan

minuman probiotik berbasis kela. Produk-produk ini tidak hanya bernutrisi tetapi juga memiliki potensi pasar yang baik karena rasa yang segar dan tekstur yang renyah.

5.4.3 Gambili: Umbi Pangan Tradisional dengan Potensi Modern

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, gambili merupakan umbi-umbian tradisional Indonesia yang memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional. Gambili mengandung senyawa bioaktif diosgenin yang telah terbukti memiliki berbagai aktivitas farmakologi seperti anti-diabetes, anti-kanker, dan hepatoprotektif (Rudiyanto A., 2015). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa ekstrak diosgenin dari gambili dapat meningkatkan sensitivitas insulin dan menurunkan kadar glukosa darah pada tikus diabetes (Sarimanah, S. A., 2025).

Potensi ini menjadikan gambili sebagai kandidat ideal untuk pengembangan produk pangan fungsional bagi penderita diabetes. Teknologi pengolahan gambili terus berkembang, mulai dari teknologi pengeringan hingga ekstraksi senyawa bioaktif. Beberapa produk inovatif yang telah dikembangkan antara lain tepung gambili instan, snack gambili dengan fortifikasi protein, dan kapsul ekstrak gambili sebagai suplemen kesehatan.

5.4.4 Pengembangan Tanaman Pangan Alternatif

Dalam aspek pengolahan, beberapa teknologi inovatif yang telah diterapkan pada tanaman pangan alternatif antara lain:

1. Pengeringan Zeolit: Teknologi pengeringan menggunakan zeolit dapat mempertahankan kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif tanaman pangan alternatif dengan lebih baik dibandingkan pengeringan konvensional.

- 2. Ekstraksi dengan Pelarut Ramah Lingkungan: Ekstraksi senyawa bioaktif menggunakan pelarut seperti etanol dan air dapat menghasilkan ekstrak yang aman untuk aplikasi pangan.
- 3. Mikroenkapsulasi: Teknologi mikroenkapsulasi dapat melindungi senyawa bioaktif selama proses pengolahan dan penyimpanan, serta memungkinkan pelepasan terkontrol di dalam tubuh.

Tabel 5.2: Nutrisi Tanaman Pangan Alternatif Indonesia

Tanaman	Produktivitas (ton/ha)	Harga Jual (Rp/kg)	Protein (g/100g)	Serat (g/100g)	Senyawa Bioaktif Utama
Quinoa Lokal	1.5 - 2.5	50.000 - 80.000	14.1	7.0	Quercetin, Kaempferol
Kela	15 - 25	5.000 - 10.000	8.2	4.9	Inulin, Vitamin C
Gembili	8 - 12	15.000 - 25.000	6.5	5.1	Diosgenin, Allantoin

5.5 Teknologi Pengolahan untuk Meningkatkan Kualitas Pangan

Pengembangan teknologi pengolahan memegang peranan krusial dalam mengoptimalkan potensi sumber daya lokal menjadi pangan sehat bernilai tambah tinggi. Teknologi yang tepat tidak hanya dapat meningkatkan kualitas nutrisi dan sensoris pangan lokal tetapi juga memperpanjang umur simpan, memperluas kegunaan, dan menciptakan produk inovatif yang kompetitif di pasar. Dalam bab ini, akan dibahas berbagai teknologi pengolahan yang telah terbukti efektif dalam mengembangkan pangan sehat berbasis sumber daya lokal Indonesia.

5.5.1 Fermentasi

Fermentasi merupakan salah satu teknologi pengolahan pangan tertua yang masih relevan hingga saat ini. Di Indonesia, fermentasi telah lama diterapkan pada berbagai produk pangan tradisional seperti tempe, tape, oncom, dan terasi. Dalam konteks pangan lokal modern, fermentasi telah dikembangkan menjadi teknologi yang lebih presisi dengan kontrol parameter yang optimal.

Mikroorganisme yang umum digunakan dalam fermentasi pangan lokal antara lain kapang (seperti *Rhizopus oligosporus* untuk tempe), ragi (*Saccharomyces cerevisiae* untuk tape), dan bakteri asam laktat (*Lactobacillus* spp. untuk berbagai produk fermentasi).

Proses fermentasi dapat meningkatkan nilai gizi pangan melalui beberapa mekanisme:

1. Degradasi senyawa antinutrisi seperti asam fitat dan tannin
2. Sintesis vitamin b kompleks dan asam amino esensial
3. Peningkatan bioavailabilitas mineral
4. Produksi senyawa bioaktif seperti peptida bioaktif dan asam organik (Cicilia et.al., 2024).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa fermentasi sereal lokal seperti sorgum dan jali dengan starter kultur kombinasi *Lactobacillus plantarum* dan *Saccharomyces cerevisiae* dapat meningkatkan kandungan asam amino fenilalanin, tirosin, dan leusin hingga 2-3 kali lipat dibandingkan bahan baku non-fermentasi. Asam amino ini berperan penting dalam sintesis neurotransmitter dan regulasi nafsu makan (Cicilia et.al., 2024).

Inovasi fermentasi modern meliputi penggunaan starter kultur murni, fermentasi terkontrol (bioreaktor), dan fermentasi padat (solid-state fermentation) untuk menghasilkan produk dengan kualitas konsisten. Fermentasi padat khususnya efisien untuk pengolahan sereal dan umbi-umbian karena memerlukan sedikit air, menghasilkan limbah cair yang minimal, dan dapat meningkatkan konsentrasi produk metabolit sekunder.

5.5.2 Fortifikasi

Fortifikasi merupakan penambahan satu atau lebih nutrisi esensial ke dalam pangan untuk meningkatkan kualitas gizi secara signifikan. Dalam konteks pangan lokal, fortifikasi dapat menjadi strategi efektif untuk mengatasi masalah defisiensi mikronutrien yang masih prevalent di Indonesia, seperti defisiensi vitamin A, zat besi, dan yodium.

Beberapa pendekatan fortifikasi yang telah diterapkan pada pangan lokal antara lain:

1. Fortifikasi Massal: Penambahan nutrisi ke dalam bahan pangan yang dikonsumsi secara luas oleh populasi, seperti fortifikasi tepung terigu dengan zat besi dan asam folat. Dalam konteks pangan lokal, fortifikasi massal dapat diterapkan pada tepung umbi-umbian atau serealialokal.
2. Fortifikasi Terarah: Penambahan nutrisi spesifik untuk kelompok sasaran tertentu, seperti fortifikasi makanan bayi dengan zat besi dan seng, atau fortifikasi makanan ibu hamil dengan asam folat dan yodium.
3. Biofortifikasi: Peningkatan kandungan nutrisi dalam tanaman melalui pemuliaan tanaman atau bioteknologi. Biofortifikasi telah berhasil diterapkan pada beberapa tanaman pangan lokal seperti ubi jalar dengan kandungan beta-karoten tinggi dan beras dengan kandungan zat besi tinggi.

Studi kasus fortifikasi pangan lokal yang menarik adalah pengembangan tepung komposit berbasis singkong dan kacang hijau yang difortifikasi dengan seng dan vitamin A. Produk ini dirancang khusus untuk anak balak di daerah endemik gizi buruk dan telah terbukti efektif meningkatkan status gizi dalam uji coba lapangan (Dzalsabila et al., 2026).

5.5.3 Pengolahan Non-Termal

Pengolahan non-thermal merupakan teknologi inovatif yang memungkinkan pengolahan pangan tanpa atau dengan paparan panas minimal. Teknologi ini sangat relevan untuk pangan lokal yang banyak mengandung nutrisi dan senyawa bioaktif sensitif panas seperti vitamin, antioksidan, dan enzim.

Beberapa teknologi pengolahan non-thermal yang telah diterapkan pada pangan lokal antara lain:

1. Teknologi Tekanan Tinggi (High Pressure Processing, HPP): Teknologi ini menggunakan tekanan sangat tinggi (400-600 MPa) untuk mematikan mikroba patogen tanpa merusak nutrisi dan senyawa bioaktif. HPP telah berhasil diterapkan pada produk minuman berbasis umbi-umbian dan sereal lokal untuk memperpanjang umur simpan tanpa pengawet kimia.
2. Iradiasi: Penggunaan sinar gamma atau elektron beam untuk menghambat pertumbuhan mikroba dan memperpanjang umur simpan. Iradiasi dosis rendah (di bawah 10 kGy) efektif untuk disinfestasi dan penghambatan perkecambahan pada umbi-umbian dan sereal.
3. Pulsed Electric Field (PEF): Teknologi ini menggunakan pulsa listrik intensitas tinggi untuk membuka pori-pori sel membran, sehingga memudahkan ekstraksi senyawa bioaktif atau meningkatkan efisiensi pengeringan. PEF telah diaplikasikan pada ekstraksi senyawa bioaktif dari ubi jalar dan gambi.
4. Ultrasonik: Gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi (20-100 kHz) dapat meningkatkan ekstraksi senyawa bioaktif, mempercepat fermentasi, dan menghasilkan emulsi yang stabil. Teknologi ini efisien untuk pengolahan minuman fungsional berbasis sereal lokal.

5.5.4 Peningkatan Bioavailabilitas Nutrisi

Bioavailabilitas mengacu pada proporsi nutrisi yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Beberapa nutrisi dalam pangan lokal memiliki bioavailabilitas rendah karena adanya faktor penghambat seperti asam fitat, tanin, dan serat. Teknologi pengolahan tertentu dapat meningkatkan bioavailabilitas nutrisi tersebut.

Beberapa strategi untuk meningkatkan bioavailabilitas nutrisi dalam pangan lokal antara lain:

1. Perkecambahan (Sprouting): Proses perkecambahan dapat mengaktifkan enzim fitase yang menghidrolisis asam fitat, sehingga meningkatkan bioavailabilitas mineral seperti besi, seng, dan kalsium. Perkecambahan juga dapat meningkatkan kandungan vitamin C dan beberapa vitamin B kompleks.
2. Fermentasi: Seperti telah dijelaskan sebelumnya, fermentasi dapat mengurangi asam fitat dan tanin, serta memproduksi asam organik yang meningkatkan absorpsi mineral.
3. Pengolahan Enzimatik: Penggunaan enzim seperti fitase, selulase, dan pektinase dapat meningkatkan bioavailabilitas nutrisi dengan menghidrolisis komponen penghambat. Enzim-enzim ini dapat diproduksi secara komersial atau berasal dari mikroorganisme fermentasi.
4. Kombinasi dengan Vitamin C: Penambahan vitamin C atau sumber vitamin C alami dapat meningkatkan absorpsi non-heme besi yang terdapat dalam pangan nabati. Strategi ini efektif diterapkan pada produk pangan lokal yang kaya akan besi seperti serealial dan kacang-kacangan.

5.5.5 Minimasi Limbah dan Pemanfaatan Bagian Tanaman secara Utuh

Pendekatan zero waste atau minimisasi limbah menjadi penting dalam pengembangan teknologi pengolahan pangan lokal yang berkelanjutan. Banyak bagian tanaman yang selama ini dianggap sebagai limbah sebenarnya masih mengandung nutrisi dan senyawa bioaktif bernilai tinggi.

Beberapa inovasi dalam pemanfaatan limbah pangan lokal antara lain:

1. Ekstraksi Senyawa Bioaktif dari Kulit Umbi: Kulit umbi-umbian seperti singkong dan ubi jalar mengandung antioksidan tinggi seperti antosianin dan fenolik. Senyawa ini dapat diekstraksi dan digunakan sebagai bahan baku suplemen atau pewarna alami.
2. Pemanfaatan Ampas Tahu dan Tempe: Ampas tahu dan tempe yang kaya akan serat dan protein dapat diolah menjadi produk pangan fungsional seperti snack, nugget, atau tepung serat tinggi.
3. Pemanfaatan Batang dan Daun: Batang dan daun beberapa tanaman pangan lokal seperti talas dan ganyong dapat diolah menjadi produk kerajinan, bioenergi, atau pakan ternak.
4. Teknologi Ekstrusi Berbasis Limbah: Teknologi ekstrusi dapat mengolah berbagai limbah pertanian menjadi produk pangan bernilai tambah seperti snack, sereal, dan produk expanded.

Implementasi pendekatan sirkular dalam pengolahan pangan lokal tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga meningkatkan efisiensi ekonomi dan menciptakan nilai tambah dari seluruh bagian tanaman.

Tabel 5.3: Perbandingan Teknologi Pengolahan untuk Pangan Lokal

Teknologi Pengolahan	Keunggulan	Keterbatasan	Aplikasi pada Pangan Lokal
Fermentasi	Meningkatkan nutrisi, mengurangi antinutrisi, memperpanjang umur simpan	Waktu proses relatif lama, memerlukan kontrol sanitasi ketat	Tepung serealial fermentasi, tempe dari berbagai bahan, tape
Fortifikasi	Cepat meningkatkan status gizi, biaya relatif rendah	Potensi interaksi antar-nutrisi, risiko toksisitas jika overdosis	Tepung komposit fortifikasi, minuman susu fortifikasi
Pengolahan Non-Termal	Mempertahankan nutrisi sensitif panas, minimal proses	Investasi awal tinggi, memerlukan tenaga ahli	Minuman HPP, produk iradiasi, produk PEF
Perkecambahan	Meningkatkan bioavailabilitas mineral, meningkatkan vitamin	Memerlukan kontrol kelembaban dan suhu ketat	Tepung kecambah serealial, sayuran kecambah
Ekstrusi	Produksi massal efisien, produk tekstur beragam	Energi intensif, dapat merusak beberapa nutrisi	Snack ekstrusi, sereal sarapan, produk expanded

Bab 6

Buah dan Sayuran Lokal Sebagai Sumber Bioaktif

6.1 Pengertian Buah dan Sayur

Buah merupakan bagian tumbuhan yang penting dan paling sering dimanfaatkan dan dikonsumsi. Bunga dalam tumbuhan yang mengalami penyerbukan akan mengalami pembuahan. Di dalam buah tersebut akan mengandung biji biasanya terdapat satu atau lebih. Buah tersebut berfungsi sebagai organ reproduktif yang melindungi biji.

Penyerbukan dapat terjadi melalui beberapa cara yaitu dengan bantuan serangga, pergerakan oleh angin, dan pergeseran oleh air. Selama proses pertumbuhan pada buah, organ tersebut akan mengalami diferensiasi sel dan jaringan yang nantinya akan membentuk beberapa bagian. Bagian umum yang dapat kita temui antara lain yaitu eksokarp (kulit bagian luar), mesokarp (daging buah), dan endokarp (lapisan kulit yang melindungi biji) (Pintanarum, 2021).

Menurut sudut pandang keilmuan pangan, buah diartikan sebagai salah satu bahan baku hortikultura yang berasal dari organ reproduksi tumbuhan dan secara umum kadar air didalamnya cukup tinggi, memiliki kombinasi rasa manis dan asam, aroma khas dari buah itu tersendiri, dan berbagai macam komponen bioaktif yang mengandung banyak manfaat untuk kesehatan. Komponen bioaktif yang dapat dijumpai dalam produk pangan antara lain vitamin, mineral, serat pangan, fitokimia, dan masih banyak lagi.

Dalam metode konsumsinya, buah dapat dimakan secara langsung ataupun dijadikan produk olahan terlebih dahulu. Produk olahan yang dapat dibuat dari buah antara lain jus, permen, pure, manisan, selai, asinan, dan beragam produk lainnya. Karakteristik fisikokimia dari buah dipengaruhi oleh beberapa faktor selama pertumbuhan yaitu klon dan spesies dari tanaman, tingkat kematangan, lingkungan, perawatan tanaman, dan penanganan buah setelah dipanen (Dewi, 2020).

Iklim tropis yang ada di Indonesia menyebabkan buah lokal yang dapat tumbuh dengan baik disini memiliki karakteristik yang unik. Beberapa karakter yang dapat ditemukan pada buah-buahan lokal yaitu rasa yang unik, daging buah yang mengandung air tinggi, dan aroma khas yang tajam. Beberapa buah utama yang menjadi primadona seperti durian dengan kulit berduri dan aroma khas kuat, salak dengan kulit kasar dan bersisik dengan tekstur daging yang renyah, manggis dengan kulit gelap dan daging buah putih cerah, rambutan dengan kulit berambut, dan buah matoa khas Papua yang eksotis (Agmaloro, 2013).

Sayuran merupakan salah satu bahan nabati yang dapat dikonsumsi. Sayuran sendiri berasal dari bagian dari tumbuhan yang bervariasi. Terdapat sayuran yang berasal dari akar, buah, batang, daun, biji, umbi, dan bunga. Sayuran dapat dikonsumsi dalam bentuk segar atau diolah menjadi berbagai jenis masakan. Rasa khas gurih dan bertekstur menjadi daya tarik tersendiri bagi penikmat sayuran. Sayuran termasuk dalam produk pangan yang mudah rusak apabila penanganan yang diberikan tidak tepat (Pradjasasmitha, 2023).

Bagian tumbuhan yang dimanfaatkan sebagai sayur memiliki kandungan gizi yang beragam sesuai dengan bagian asal tumbuhannya. Sayurnya yang berasal dari bagian daun akan mengandung lebih banyak klorofil bila dibandingkan dengan sayuran yang lain. Sayuran yang berasal dari bagian buah akan memiliki kandungan vitamin dan merial lebih tinggi. Sedangkan untuk sayuran yang berasal dari batang akan memiliki komponen serat kasar yang lebih banyak. Keberagaman ini akan membuat sayuran menjadi bahan pangan dengan variasi gizi yang beragam.

Sayur lokal Indonesia terkenal dengan nutrisi yang tinggi, dapat tumbuh dalam segala kondisi, dna harga beli yang cukup terjangkau. Contoh beberaa komoditas lokal sayur beserta karakteristiknya yaitu daun singkong yang tingg protein dan zat besi, kangkung dengan vitamin dan serat yang tinggi, bayam merah yang kaya antioksidan, labu siam yang memiliki kalori cukup rendah, kecipir, daun katuk, daun kelor, dan masih banyak lagi. Sayuran dapat beradaptasi dengan cukup baik bila tumbuh dalam iklim tropis sehingga ketersediaan dala sepanjang tahun cukup melimpah (Nizaar, 2017).

6.2 Jenis dan karakter Sayur dan Buah Lokal

Keberagaman hayati yang ada di Indonesia membuat negara kita menjadi kaya akan sumber daya alam. Beberapa karakter dari buah lokal yang dapat kita jumpai di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6.2.: Buah lokal dan karakteistiknya

No.	Nama Buah	Karakteristik
1.	Salak	Kulit cokelat gelap dengan tekstur sisik seperti ular Daging buah putih dan renyah Rasa asam, manis, dan sedikit sepat

		Aroma tidak terlalu kuat
2.	Durian	Kulit hijau gelap, tebal, dan berduri tajam Daging buah kuning dan lembut Rasa manis dan ada sentuhan alkohol Aroma khas dan menyengat
3.	Manggis	Kulit ungu gelap dantebal Daging Buah lembek dan sangat berair Rasa asam, manis dengan tekstur lembut Aroma manis khas manggis
4.	Rambutan	Kulit merah dan berambut Daging buah putih bening dan berair Rasa asam dan manis Aroma khas rambutan
5.	Matoa	Kulit halus cokelat kemerahan Daging buah segar dan berair Rasa dominan manis Aroma khas buah matoa yang unik
6.	Sukun	Kulit kasar dan tipis Daging buah kuning dan lembut Rasa lembut, berpati tinggi, dominan gurih Aroma tidak menyengat
7.	Jambu air	Berbentuk seperti lonceng gantung Kulit mengkilap hijau kemerahan Daging buah berpori dan berair Rasa manis dan sedikit sentuhan sepat Aroma tidak menyengat
8.	Srikaya	Kulit bergelombang dan sedikit kasar Daging buah putih menyelimuti biji Rasa manis dan tekstur berpasir Aroma manis khas srikaya
9.	Nanas	Kulit kasar dan sedikit berduri Daging buah kuning dan sedikit berair Rasa dominan asam manis segar Aroma asam khas nanas
10.	Nangka	Kulit kasar dan berduri dengan ukuran besar Daging buah kuning dan berserat Rasa manis dan sedikit bergetah Aroma khas nangka

Sayura lokal Indonesia juga tidak kalah menarik dengan segala keunikannya. Berikut adalah sayuran lokal khas yang dapat ditemui di Indonesia beserta dengan karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2: Sayuran Lokal dan Karakteristiknya

No.	Nama Sayur	Karakteristik
1.	Daun Singkong	Daun menjari dengan warna hijau Rasa yang agak pahit dan sepat Tidak dapat dikonsumsi dalam bentuk segar Kandungan gizi protein dan serat yang tinggi
2.	Kangkung	Tumbuh cepat pada dataran rendah Rasa yang lebih netral dan tidak getir Diolah terlebih dahulu sebelum dikonsumsi Batang berongga dan berair
3.	Daun Katuk	Daun kecil dan berwarna gelap Biasa dimanfaatkan sebagai suplemen Rasa lembut, cenderung manis, dan sedikit gurih Aroma langu khas sayuran
4.	Labu siam	Bentuk lonjong agak bulat berwarna hijau Kulit agak kasar dan sedikit berbulu Memiliki getah yang cukup banyak Rasa dan aroma netral dengan kadar air tinggi
5.	Kecipir	Semua bagian tanaman bisa dimakan Rasa sedikit pahit, hambar, dan sedikit manis Aroma langu yang cukup kua setelah dimasak Tidak cocok dikonsumsi dalam bentuk segar
6.	Daun Kelor	Daun kecil dan banyak Warna hijau tua sampai muda Memiliki rasa gurih dan tawar yang khas Harga yang sangat terjangkau
7.	Bayam Merah	Daun sedikit lebar dan warna merah keunguan Bagian batangnya bisa dikonsumsi Rasa gurih dan sedikit langu Warna merah akan ungu dalam air rebusan
8.	Oyong (Gambas)	Sayur dengan tekstur spons sebelum dimasak Tekstur akan melunak setelah dimasak Rasa cenderung hambar

		Aroma tidak tajam
9.	Pare	Kulit sayur hijau dan bertekstur Rasa sangat pahit Aroma tidak menyengat Perlu perlakuan untuk menurunkan rasa pahit
10.	Bunga turi	Berasal dari bagian bunga tumbuhan Memiliki rasa cenderung pahit gurih Warna putih cerah Diolah terlebih dahulu sebelum dikonsumsi

Selain buah dan sayur diatas masih banyak komoditas lokal lain yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Warna buah dan sayur yang beragam menjadi daya tarik tersendiri bagi serangga dan manusia yang akan mengonsumsinya. Selain bertujuan untuk menambah daya tarik, warna dari buah dan sayur yang cerah dan pekat merupakan salah satu tanda terkandungnya komponen gizi terutama zat bioaktif.

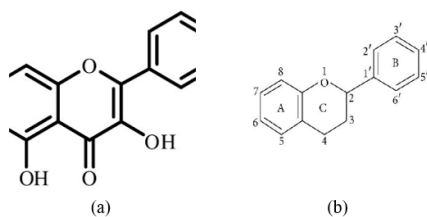
6.3 Komponen Bioaktif Buah dan Sayur

Senyawa bioaktif merupakan senyawa kimia yang terbentuk secara alami dan berada dalam tumbuhan, hewan, atau mikroorganisme dalam jumlah sedikit serta memiliki aktivitas biologis terutama pada kesehatan. Beberapa dampak komponen bioaktif terhadap kesehatan antara lain yaitu antioksidan, antiinflamasi, anti kanker, dan antimikroba. Perbedaan komponen bioaktif dengan senyawa esensial lainnya, senyawa ini tidak menjadi pemeran utama dalam metabolisme tubuh sehari – hari namun dapat meningkatkan fungsi tubuh dan mencegah berbagai macam penyakit baik generatif maupun degeneratif (Das et al., 2025).

Senyawa bioaktif yang dapat ditemui pada sayur dan buah cukup beragam. Berikut beberapa senyawa bioaktif yang paling sering dijumpai pada buah dan sayuran lokal di Indonesia.

1. Senyawa Fenolik dan Flavonoid

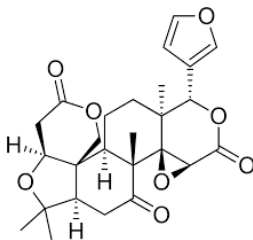
Senyawa fenolik adalah senyawa kimia aromatik yang mempunyai gugus hidroksil (-OH) satu atau lebih yang berikatan langsung dengan cincin benzena. Sedangkan Flavonoid merupakan salah satu fenolik terbesar yang tersusun atas sepasang cincin aromatik (C6) yang dihubungkan oleh tiga atom karbon. Struktur atom dari senyawa fenolik dan Flavonoid dapat dilihat pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1: (a) struktur kimia senyawa fenolik (Kimia et al., 2017) (b) Struktur kimia senyawa Flavonoid (Pasaribu, 2019).

2. Limonoid

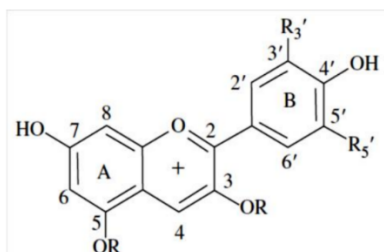
Limonoid merupakan senyawa fitokimia dari turunan kelas triterpenoid yang jumlahnya cukup melimpah pada produk jeruk dan sejenisnya. Senyawa ini antikanker dan antifeedant sehingga banyak dimanfaatkan dalam dunia kesehatan (Widayanti et al., 2018). Berikut adalah gambaran struktur limonoid yang didapat dari buah jeruk dapat dilihat pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2: Struktur Kimia Limonoid (Sumber: Wikipedia)

3. Antosianin

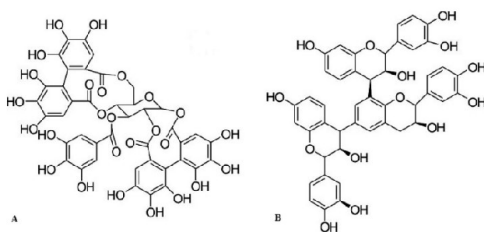
Antosianin adalah pigmen alami yang tergolong dalam kelompok senyawa flavonoid yang menimbulkan unculnya warna merah, ungu, dan biru pada berbagai macam bahan nabati. Secara kimiawi pembentukan antosianin beasal dari bentuk glikosida dari antosianidin yang terikat dengan satu gugus gula atau lebih. Antosianin bersifat polar dan stabil pada pH asam. Bentuk struktur kimia dari antosianin dapat dilihat pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3: Struktur Kimia Antosianin (Priska et al., 2018)

4. Tanin, Saponin, Alkaloid

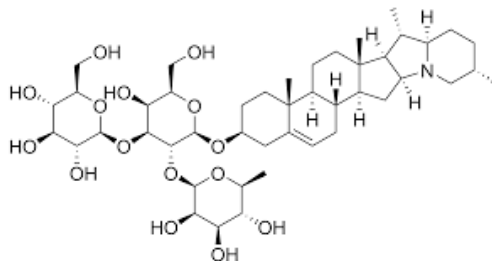
Tanin adalah metabolit sekunder pada tumbuhan dalam bentuk polifenol dengan berat molekul 500-3000 dalton. Tanin memiliki sifat mengikat atau mengendapkan rotein yang disebut juga dengan astringen. Tanin juga memiliki sifat polar sehingga larut dalam air. Berdasarkan jenisnya tanin dibagi menjadi dua yaitu tanin terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin bersifat sebagai antibakteri, antidiare, dan juga antioksidan (Sulasmai et al., 2019). Strukur kimia dari tanin dapat dilihat pada gambar 6.4.



Gambar 6.4: Tanin terhidrolisis dan Tanin terkondensasi (Dewi et al, 2022)

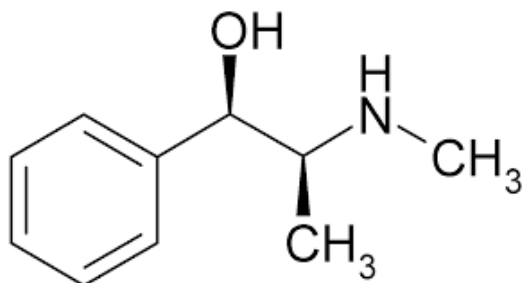
Saponin adalah senyawa metanolit sekunder berupa glikosida yang terdiri dari steroid dan triterpenoid yang berada dalam sebagian besar tumbuhan. Saponin memiliki rasa yang pahit dan dapat membentuk sabun dengan busa yang stabil bila dilakukan pengocokan dalam air. Senyawa ini terdapat pada bagian terluar dari tumbuhan yang berfungsi sebagai zat pertahanan alami.

Saponin sering dimanfaatkan sebagai antimikroba karena mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur, berperan sebagai antioksidan, antikarsinogenik, dan meningkatkan kekebalan tubuh. Namun apabila saponin ditemui dalam jumlah yang tinggi maka dapat bersifat racun pada hewan karena dapat menyebabkan hemolisis atau pecahnya sel darah merah. Gambar dari struktur saponin dapat dilihat pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5: Struktur Kimia Saponin (Sumber: Wikipedia)

Alkaloid adalah senyawa metabolit sekunder organik yang terbuat dari proses alami yang dapat ditemui pada tumbuhan dengan komponen atom hidrogen lebih dari satu dan terdapat dalam cincin heterosiklik dan bersifat basa (Dey et al, 2020). Senyawa ini memiliki rasa yang pahit dan tepat dengan pemanfaatan sebagai obat atau racun. Kandungan nitrogen yang ada dalam alkaloid berasal dari asam amino sehingga dapat bereaksi dengan asam untuk membentuk garam yang terlarut dalam air. Beberapa sumber alkaloid yaitu morfin, kafein, nikotin, kinin, dan atropin. Bentuk struktur kimia dari alkaloid dapat dilihat pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6: Struktur Kimia Alkaloid

5. Vitamin dan Serat

Vitamin adalah senyawa esensial berbentuk mikronutrien yang terbentuk secara organik dan terdapat dalam jumlah yang cukup kecil dan dapat dimanfaatkan untuk tubuh sebagai pengatur metabolisme dalam tubuh. Selain itu, vitamin juga berfungsi sebagai peningkatan fungsi organ, pertumbuhan, dan dapat diproduksi secara alami dalam jumlah yang cukup.

Fungsi utama dari vitamin yaitu sebagai katalisator bagian dari enzim dan koenzim untuk membantu optimalisasi metabolisme dalam tubuh, menjaga kesehatan organ dalam, dan memperlancar fungsi kerja dari sel. Meskipun diperlukan dalam jumlah yang sedikit, kekurangan vitamin dapat memberikan dampak negatif bagi tubuh. Defisiensi vitamin dalam tubuh dapat menyebabkan penyakit spesifik yang biasa disebut sebagai avitaminosis. Sementara kelebihan vitamin juga dapat membahayakan tubuh yaitu hipervitaminosis.

Vitamin terbagi menjadi dua jenis yaitu vitamin larut lemak dan vitamin larut air. Vitamin yang larut dalam lemak terdiri dari vitamin A, D, E, K, sedangkan vitamin larut air yaitu vitamin C dan B. Apabila terdapat konsumsi vitamin yang telah memenuhi kebutuhan harian maka vitamin tersebut akan diproses secara berbeda. Vitamin larut lemak akan disimpan dalam jaringan lemak yang ada dalam tubuh dan hati, sedangkan kelebihan vitamin C dan B tidak akan disimpan atau dibuang melalui urine.

Mineral adalah senyawa kimia organik berbentuk padat yang secara alami uncul melalui proses geologi. Mineral memiliki komposisi kimia tetap dengan bentuk kristal yang teratur. Dalam hal nutrisi, mineral dan zat esensial lain dibutuhkan untuk fungsi metabolisme dan menjaga imunitas tubuh agar tetap sehat.

Bab 7

Limbah dan Hasil Samping Pertanian Bernilai Tambah

7.1 Konsep dan Klasifikasi Limbah dan Hasil Samping Pertanian

Komoditi pertanian berbasis tanaman terdiri dari produk pangan, hortikultura, dan perkebunan merupakan salah satu sumber kehidupan manusia. Konsumsi manusia terhadap produk hasil pertanian sangat besar, sebagaimana contoh yang tercatat oleh Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa produksi padi di Indonesia pada tahun 2024 mencapai hingga 4,72 juta ton dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi manusia terhadap produk hasil pertanian sangat besar dan berbanding lurus dengan jumlah limbah maupun hasil samping pertanian yang dihasilkan untuk setiap komoditi.

Limbah pertanian merupakan hasil pengolahan pasca pemanenan yang tidak digunakan atau disebut sebagai buangan. Limbah ini diperoleh dari

pengolahan hasil utama dan hasil samping suatu komoditi. Sedangkan, hasil samping (by-product) pertanian merupakan bagian dari hasil panen utama atau dapat disebut sebagai hasil sekunder yang masih dimanfaatkan sebagai bahan baku olahan lain. Umumnya, limbah bersifat berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan, baik secara biologis, kimiawi, maupun fisik, dan sangat minim kegunaan meskipun memiliki potensi untuk dikembangkan kembali meskipun dalam kuantitas dan kualitas yang kecil, sedangkan hasil samping sangat berpotensi untuk diolah menjadi produk bernilai tinggi karena bukan merupakan buangan melainkan bagian yang tidak terpakai saat produksi.

Namun secara umum, limbah dan hasil samping pertanian seringkali dinilai sama karena sama-sama memiliki potensi untuk dikembangkan melalui berbagai proses sesuai dengan hasil yang dikehendaki. Sebagai contoh pada industri pengolahan tepung kelapa, hasil panen utama yang digunakan sebagai bahan baku tepung kelapa adalah daging kelapa, pengolahan ini dapat menghasilkan limbah berupa air kelapa yang umumnya tidak digunakan kembali melainkan bercampur dengan air hasil pencucian kelapa sehingga berpotensi mencemari lingkungan yakni air, tanah, dan udara maka membutuhkan teknologi pengolahan limbah cair tersebut untuk meminimalisir dampak atau bahayanya.

Sedangkan dari proses pengolahan tepung kelapa tersebut terdapat hasil samping berupa sabut kelapa yang dapat diolah sebagai bahan utama pembuatan cocopeat yang merupakan media tanam yang ramah lingkungan dan batok kelapa yang dapat diolah menjadi briket untuk bahan bakar pabrik pengolahan industri tersebut.

Sumber limbah dan hasil samping pertanian dapat berasal dari pengolahan bahan pertanian seperti pangan, hortikultura, maupun produk perkebunan. Limbah tanaman pangan dapat berasal dari hasil pengolahan padi seperti jerami dan dedak atau dari pengolahan pascapanen jagung seperti tongkol, pembungkus jagung (klobot), dan batang jagung. Bagian-bagian tersebut merupakan hasil samping karena masih dapat digunakan kembali dan umumnya oleh petani digunakan sebagai substitusi pakan ternak atau oleh

industri diolah menjadi bahan baku bagi produk dengan nilai jual yang cukup tinggi.

Sedangkan, dari pengolahan tersebut limbah yang merupakan bagian tidak terpakai karena sangat minim nilai manfaatnya atau sebagai buangan umumnya dibuang atau diolah secara fisik, kimiawi, maupun biologis untuk memperkecil dampaknya bagi lingkungan. Sedangkan untuk produk lainnya seperti hortikultura, limbah pertanian dapat berupa hasil pengolahan pasca pemanenan yakni tangkai buah, kulit, maupun bagian dari buah yang telah rusak dan tidak dapat dilanjutkan ke pengolahan selanjutnya. Hasil samping yang dihasilkan dapat berupa olahan makanan seperti jantung pisang yang diperoleh saat pemanenan pisang, bagian daun pisang yang dapat digunakan sebagai pembungkus kemasan, hingga batang pisang yang dapat diolah menjadi keripik batang pisang (Une et al., 2022). Sedangkan untuk produk hasil perkebunan, limbah yang dihasilkan dapat berupa kulit biji kakao yang tidak termanfaatkan namun belakangan mulai dikembangkan pemanfaatannya menjadi produk yang lebih bernilai meskipun masih relatif kecil.

Berdasarkan wujudnya, limbah pertanian dikategorikan dalam tiga jenis, yakni limbah berwujud cair, padat, dan gas. Limbah dengan wujud padat relatif lebih mudah teridentifikasi, lebih mudah dalam mobilisasi, maupun pengolahan. Limbah ini dapat berupa tangkai buah, daun, kulit buah, kulit biji, dan lain-lain. Limbah dengan wujud cair atau cairan biasanya berupa hasil pencucian hasil pertanian, baik di tingkat petani saat pascapanen maupun industri saat pengolahan. Limbah yang berwujud gas merupakan limbah yang umumnya teridentifikasi melalui indera penciuman manusia karena mencemari udara, seperti dari bau yang dihasilkan oleh industri akibat pengolahan bahan baku seperti ampas kelapa yang berbau tengik atau sisa pengolahan buah yang berbau busuk.

Hasil samping pertanian umumnya masih cukup tinggi untuk dimanfaatkan menjadi produk bernilai seperti diolah menjadi pakan. Jerami padi masih mengandung sekitar 2 – 7% protein, Total Digestible Nutrient sebesar 43 – 54%, dan fosfor (P) 0,07 – 0,16 (Istiqomah et al., 2022). Secara

umum, hasil samping pertanian mengandung nilai gizi makro dan mikro meskipun tidak lebih besar dari kandungan gizi makro dan mikro hasil utama pertanian, seperti karbohidrat, protein, lemak, selulosa, lignin, serat. Adapun kandungan lainnya yang dapat menjadi sumber energi seperti nilai kalor, hasil fermentasi yang secara bioteknologi berpotensi sebagai sumber bioetanol, atau hasil lainnya yang berpotensi sebagai bahan pembuatan bio-briket dan biodiesel.

Batasan antara limbah dan hasil samping bersifat dinamis dan sangat tergantung pada ketersediaan teknologi, akses pasar, dan kebijakan yang berlaku. Sekam padi yang selama ini dianggap limbah dan dibakar, dengan teknologi briket yang tersedia dapat diubah menjadi hasil samping berupa bahan bakar biomassa yang bernilai ekonomi, sebagaimana diteliti oleh (Erpinda et al., 2026).

Demikian pula dengan bungkil sawit, tumpi jagung, dan dedak halus yang dalam penelitian (Pratama et al., 2025) dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan konsentrat ternak, mengubah statusnya dari limbah menjadi hasil samping yang berharga. Secara sederhana, nilai tambah adalah peningkatan nilai ekonomis suatu produk setelah melalui proses tertentu, seperti pengolahan atau pengemasan. Dalam pemanfaatan limbah pertanian, proses ini mengubah bahan buangan yang tidak berguna menjadi produk berharga, sehingga menciptakan nilai ekonomi baru.

7.2 Teknologi Pengolahan Limbah dan Hasil Samping Pertanian

Limbah dan hasil samping pertanian akan dapat dirasakan dampaknya secara langsung melalui berbagai metode pengolahan. Pengolahan ini dilakukan dengan tujuan untuk mempertahankan kualitas produk ataupun meningkatkan kualitas produk sehingga dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan. Diantara teknologi yang dapat dilakukan adalah melalui pengolahan fisik yang terdiri dari pengeringan, pengecilan ukuran,

ekstraksi, dan lain-lain, maupun melalui metode kimiawi atau biokimia seperti fermentasi dan hidrolisis enzimatis).

Hasil samping pertanian yang dihasilkan di Indonesia sangat melimpah. Seperti contoh pada pengolahan padi yang selama ini sebagian besar sekam tersebut hanya dibakar, menimbulkan masalah polusi udara dan membuang potensi energi yang sebenarnya dapat dimanfaatkan. Fenomena serupa terjadi di berbagai daerah seperti untuk komoditi kopi yang menghasilkan kulit kopi, jagung menghasilkan tongkol jagung, pengolahan tebu menghasilkan blotong tebu, sawit bungkil kelapa sawit, dan berbagai hasil samping lainnya belum dimanfaatkan secara optimal.

Lebih dari sekadar potensi energi, limbah dan hasil samping pertanian juga mengandung berbagai komponen bioaktif dan nutrisi yang dapat dimanfaatkan untuk pangan fungsional, pakan ternak berkualitas, pupuk organik, hingga bahan baku industri farmasi dan kosmetik. (Damayanti et al., 2026) menekankan pentingnya pemanfaatan sumber pangan lokal secara optimal, yang secara implisit mencakup pula pemanfaatan hasil samping yang selama ini terbuang. Demikian pula dengan (Prasetyo et al., 2026) yang mengkaji keberlanjutan pertanian organik, dimana pengelolaan limbah pertanian menjadi komponen penting dalam siklus hara dan kesehatan tanah.

7.2.1 Teknologi Fisik (Pengeringan, Pengecilan Ukuran, dan Ekstraksi)

Pengeringan melibatkan penggunaan suhu tinggi untuk mengurangi kadar air produk pertanian. Sebab, semakin tinggi nilai kadar air dalam suatu produk pertanian maka semakin tinggi metabolisme produk seperti laju respirasi sehingga produk akan cepat mengalami kebusukan. Maka menurunkan nilai kadar air dilakukan dengan tujuan memperpanjang umur penggunaan produk maupun umur penyimpanan produk. Limbah maupun hasil samping pertanian masih dapat diolah kembali dan salah satunya ditempuh dengan pengeringan, seperti pengeringan cangkang,

tandan kosong, dan serat kelapa sawit menggunakan suhu pengering hingga 75 °C untuk menghasilkan biomasa (Caroko et al., 2025).

Pengecilan ukuran (size reduction) sangat umum dilakukan pada produk pertanian, pada kegiatan ini dilakukan pengecilan suatu bahan secara mekanis dengan tidak mengubah kandungan dari bahan tersebut. Pengecilan ukuran biasanya dilakukan untuk memperoleh tekstur tertentu untuk sebuah produk yang dilakukan melalui pencacahan atau menggiling menggunakan alat seperti grinder untuk memperoleh ukuran yang lebih kecil, umumnya dinyatakan dalam bentuk mesh. Contoh pengecilan ukuran pada limbah produk pangan adalah pembuatan tepung cangkang kulit kakao yang masih memiliki kandungan antioksidan.

Pengolahan lainnya dapat dilakukan dengan cara ekstraksi, yakni sebuah metode pemisahan untuk memperoleh suatu komponen yang terkandung di dalam bahan tertentu menggunakan pelarut, tergantung jenis, sifat fisik, dan sifat kimia kandungan senyawa yang akan diekstrak. Pelarut yang umumnya digunakan antara lain eter, heksana, methanol, dan ethanol. Contoh pengolahan limbah dan hasil samping produk pertanian yakni ekstraksi warna pada kulit buah naga merah untuk dimanfaatkan sebagai pewarna alami produk pangan. Selain pemanfaatan karakteristik warna dari kulit buah, kelebihan lainnya adalah nilai fungsionalnya seperti nilai aktivitas antioksidan yang tinggi.

7.2.2 Teknologi Kimia dan Biokimia (Fermentasi dan Hidrolisis Enzimatis)

Metabolisme pada produk pertanian berlangsung secara aerob sehingga dapat terjadi respirasi dan transpirasi produk secara normal. Ketika kondisi beralih menjadi anaerob (tanpa oksigen) maka akan terjadi fermentasi. Fermentasi adalah proses metabolisme yang mengubah gula menjadi senyawa asam, alkohol, atau gas. Fermentasi ini dapat terjadi dengan bantuan enzim dan mikroorganisme. Tidak semua hasil fermentasi berupa produk yang tidak baik, sebaliknya justru beberapa memiliki nilai gizi yang tinggi seperti fermentasi kedelai menjadi tempe dengan bantuan *Rhizopus*..

Salah satu teknik pengolahan hasil samping pertanian menggunakan fermentasi adalah fermentasi jerami untuk menghasilkan pakan yang berkualitas bagi ternak.

Sedikit berbeda dari fermentasi, hidrolisis enzimatis merupakan pemecahan molekul yang kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, seperti pemecahan pati menjadi glukosa dengan bantuan enzim amilase. Hasil samping maupun limbah pertanian dapat diolah menggunakan teknik hidrolisis enzimatis ini seperti mengubah limbah hasil pengolahan produk hortikultura menjadi produk bernilai lebih yakni glukosa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan alkohol.

7.3 Aplikasi Produk Turunan Limbah dan Hasil Samping Pertanian Bernilai Tambah

Sektor pertanian dan industri pengolahan pangan tidak hanya menciptakan produk pokok sebagai tujuan utama usahanya, melainkan juga menghasilkan beragam limbah dan produk ikutan yang kerap dianggap sebagai beban yang harus disingkirkan. Padahal, di balik limbah sekam padi, kulit buah, ampas, serta aneka residu agraria lainnya, tersembunyi nilai ekonomi dan lingkungan yang amat besar jika dikelola secara optimal. Cara pandang usang yang menganggap limbah sebagai sesuatu yang tak berguna dan perlu dimusnahkan perlahan-lahan bertransformasi menuju pendekatan ekonomi sirkular. Dalam konsep ini, setiap produk samping dari sebuah proses produksi diposisikan sebagai bahan baku potensial bagi proses produksi lainnya.

Riset mengenai pemanfaatan limbah hasil pertanian menjadi produk dengan yang bernilai tinggi telah banyak dilakukan. Salah satu konsep yang menarik dalam pengolahan limbah maupun hasil samping produk pertanian adalah pengolahan menjadi kemasan edible dan biodegradable.

Konsep berkelanjutan (austainable) saat ini sedang menjadi tujuan utama dalam berbagai bidang pengembangan secara global.

Bidang pertanian tidak luput dari hal ini. Konsep berkelanjutan yang menuntut pemanfaatan sumber daya hingga hasil produksi yang dapat diperbaharui dan berorientasi pada ramah lingkungan menuntut untuk selalu menghasilkan riset yang berorientasi pada sustainability ini. Salah satu contohnya adalah dengan mengurangi penggunaan bahan pengemas yang tersusun atas bahan yang sukar untuk terurai oleh lingkungan seperti plastik dan lebih memilih bahan yang mudah terurai seperti kemasan berbahan dasar kertas, kardus, daun, maupun hasil pengembangan pati dari jagung, kentang, dan bahan pertanian lainnya.

Pengembangan kemasan berbahan dasar pati telah dilakukan secara cukup massive bahkan hingga sampai ke tahap produksi dan dipasarkan secara luas ke masyarakat. Teknologi ini dinilai sangat solutif, mengingat pati merupakan komponen karbohidrat yang secara melimpah terdapat pada bahan pertanian seperti umbian dan sereal. Pengembangan pati menjadi bahan dasar penyusun kemasan merupakan salah satu solusi peralihan dari penggunaan plastik sebagai kemasan, terutama kemasan untuk bahan pangan. Selain dijadikan sebagai bioplastik, pati juga dapat digunakan sebagai edible packaging, yakni digunakan sebagai kemasan primer dari produk tertentu yang prinsipnya adalah membungkus dan dapat dikonsumsi bersama produk tersebut.

Inovasi lain dari pengembangan hasil samping berupa pati ini adalah pemanfaatan sebagai kemasan pintar (smart packaging) dan kemasan aktif (active packaging) yang bermanfaat dalam memperpanjang umur simpan makanan yang dikemas dan juga dapat mendeteksi kualitas makanan secara visual sehingga memudahkan konsumen dalam mengidentifikasi kerusakan pada produk makanan sebelum membeli produk.

Pemanfaatan hasil samping pertanian yang bernilai jual dan cukup menjanjikan di masa depan adalah penggunaan bahan alami sebagai pengemas produk pertanian seperti penggunaan daun pisang, daun pandan, daun talas, dan lainnya yang dikenal sebagai konsep eco-friendly.

Penggunaan daun ini sudah mulai dikembangkan di berbagai negara untuk membungkus produk yang dipasarkan di berbagai ritel moderen seperti supermarket dan hypermarket. Metode pengemasan ini dikenal lebih efisien dari segi biaya, lingkungan, estetika, maupun keterjangkauan, juga mengangkat kearifan lokal suatu daerah ke ranah global.

Konsep Zero Waste

Kajian mengenai zero waste telah dilakukan oleh Food and Agriculture Organization (FAO) sebagai upaya mengurangi jumlah 'sampah' dengan prinsip Reduce, Reuse, Recycle. Salah satu jalan yang bisa ditempuh untuk komoditi pertanian adalah dengan meminimalkan food loss (kehilangan makanan) dan food waste (sampah makanan). Selama proses pengolahan, makanan yang dikonsumsi oleh manusia mengalami serangkaian proses rantai pengolahan yang panjang.

Proses pengolahan tersebut memiliki risiko kehilangan yang terjadi akibat penanganan yang kurang tepat. Penanganan pascapanen yang kurang tepat biasanya tidak sesuai dengan prosedur Good Handling Practices (GHP) diantaranya pada saat panen, sortasi, pemutuan, pengemasan, penyimpanan, hingga transportasi. Penanganan yang kurang tepat ini mengakibatkan susut bobot maupun susut mutu. Persentase susut ini cukup tinggi di negara berkembang, termasuk Indonesia (Tabel 7.1).

Tabel 7.1: Estimasi Kehilangan Hasil Pascapanen pada Buah dan Sayur
(Kumar and Haokip, 2024)

No.	Jenis Produk	Jumlah Kehilangan (%)
1.	Apel	14
2.	Pisang	20 – 80
3.	Lemon	20 – 85
4.	Wortel	5 – 9
5.	Tomat	5 – 50
6.	Kubis	37

Tingginya kehilangan pascapanen mungkin disebabkan oleh penanganan yang buruk. Pendekatan yang berbeda diperlukan untuk setiap jenis

komoditas dalam penanganan pascapanen. Pangan komoditas memerlukan penggunaan teknik pengeringan dan penyimpanan yang baik untuk meminimalkan efek negatif dari penyakit pascapanen selama penyimpanan. Ini karena pangan komoditas sering digunakan dalam jangka waktu yang panjang (>6 bulan). Komoditas hortikultura, di sisi lain, memerlukan perhatian terus-menerus karena mereka mudah rusak (perishable) sejak saat mereka ditempatkan di tangan konsumen.

FAO mengestimasi bahwa >13% produksi pangan mengalami kehilangan hasil di seluruh rantai pasok. Hal ini menjadi penyebab utama ratusan juta orang mengalami kekurangan nutrisi dan jutaan orang tidak mampu memperoleh pangan yang sehat. Selain masalah sosial, zero waste ini menjadi penyebab emisi lingkungan sehingga hal ini telah menjadi masalah global yang serius. Solusi dari permasalahan ini dapat dicegah mulai dari tingkat petani, yakni dengan edukasi GHP saat pascapanen agar petani mulai menyadari bahwa penanganan yang kurang tepat justru membuka risiko kehilangan hasil produksi dan berimbas pada pendapatan petani.



Gambar 7.1: Contoh Kehilangan Hasil pada Komoditi Jagung akibat Penanganan Pascapanen yang Kurang Tepat

Konsep pemanfaatan limbah dan hasil samping pertanian ini bukan tidak memiliki tantangan, namun tidak menutup kemungkinan juga akan terus dilakukan riset yang menjadi solusi dari tantangan ini. Adapun tantangan yang dihadapi dapat berupa tantangan teknis seperti keragaman karakteristik limbah sehingga membutuhkan teknik tertentu dalam memisahkan berdasarkan karakteristik tersebut, adanya keterbatasan teknologi tepat guna khususnya dalam skala kecil, masalah bahan baku yang mudah rusak akibat waktu penyimpanan yang singkat.

Adapun tantangan ekonomi berupa biaya koleksi maupun pengolahan bahan baku yang cukup besar, adanya fluktuasi harga terhadap produk akhir, hingga persaingan dengan produk lain. Sedangkan tantangan sosial dapat berupa persepsi negatif dari masyarakat terhadap produk hasil pengolahan limbah, keterbatasan pengetahuan dan keterampilan, keterbatasan dalam modal, dan terbentur kebijakan yang belum mendukung secara penuh.



Gambar 7.2: Hirarki Food waste reduction, recovery, dan recycling (Dou et al., 2016)

Konsep pemanfaatan limbah dan hasil samping pertanian ini bukan tidak memiliki tantangan, namun tidak menutup kemungkinan juga akan terus dilakukan riset yang menjadi solusi dari tantangan ini. Adapun tantangan yang dihadapi dapat berupa tantangan teknis seperti keragaman karakteristik limbah sehingga membutuhkan teknik tertentu dalam memisahkan berdasarkan karakteristik tersebut, adanya keterbatasan teknologi tepat guna khususnya dalam skala kecil, masalah bahan baku yang mudah rusak akibat waktu penyimpanan yang singkat.

Adapun tantangan ekonomi berupa biaya koleksi maupun pengolahan bahan baku yang cukup besar, adanya fluktuasi harga terhadap produk akhir, hingga persaingan dengan produk lain. Sedangkan tantangan sosial dapat berupa persepsi negatif dari masyarakat terhadap produk hasil pengolahan limbah, keterbatasan pengetahuan dan keterampilan, keterbatasan dalam modal, dan terbentur kebijakan yang belum mendukung secara penuh.

Bab 8

Fitokimia dan Senyawa Bioaktif Pangan

8.1 Konsep Fitokimia dalam Pangan Fungsional

Fitokimia adalah senyawa kimia alami yang diproduksi oleh tumbuhan sebagai bagian dari mekanisme pertahanan diri terhadap cekaman lingkungan seperti serangan hama, patogen, radiasi ultraviolet, dan stres oksidatif. Senyawa ini termasuk dalam kelompok metabolit sekunder karena tidak secara langsung terlibat dalam proses pertumbuhan primer seperti fotosintesis atau respirasi. Meskipun demikian, perannya sangat penting dalam menjaga kelangsungan hidup tanaman. Dalam konteks pangan, fitokimia menjadi perhatian utama karena kontribusinya terhadap kualitas fungsional bahan pangan.

Dalam ilmu pangan modern, fitokimia digolongkan sebagai senyawa bioaktif, yaitu komponen non-gizi yang memiliki efek fisiologis tertentu

pada tubuh manusia. Senyawa bioaktif berbeda dari zat gizi esensial karena tidak selalu dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi dasar kehidupan. Namun, keberadaannya dapat meningkatkan status kesehatan dan menurunkan risiko penyakit kronis. Oleh karena itu, fitokimia menjadi dasar pengembangan pangan fungsional yang tidak hanya memenuhi kebutuhan nutrisi, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan tambahan.

Berbeda dengan zat gizi makro seperti karbohidrat, protein, dan lemak serta zat gizi mikro seperti vitamin dan mineral, senyawa bioaktif bekerja melalui mekanisme biokimia yang lebih spesifik dan sering kali bersifat protektif. Banyak penelitian menunjukkan bahwa konsumsi pangan kaya fitokimia berkorelasi dengan penurunan risiko penyakit degeneratif seperti diabetes melitus tipe 2, kanker, hipertensi, dan penyakit kardiovaskular. Aktivitas tersebut umumnya berkaitan dengan sifat antioksidan dan antiinflamasi yang mampu menekan stres oksidatif dalam tubuh. Dengan demikian, fitokimia berperan sebagai komponen preventif dalam pola makan sehat jangka panjang.

Secara umum, fitokimia memiliki beberapa karakteristik utama dalam pangan. Pertama, senyawa ini berasal dari metabolit sekunder tanaman yang terbentuk melalui jalur biosintesis tertentu. Kedua, fitokimia memiliki aktivitas biologis seperti antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, atau imunomodulator. Ketiga, banyak di antaranya sensitif terhadap proses pengolahan seperti pemanasan, oksidasi, dan paparan cahaya. Keempat, senyawa ini sering memberikan warna, aroma, dan rasa khas pada bahan pangan, sehingga berkontribusi terhadap sifat sensori produk.

Keberadaan fitokimia dalam bahan pangan juga dipengaruhi oleh varietas tanaman, kondisi lingkungan, teknik budidaya, serta metode panen dan pascapanen. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi konsentrasi dan stabilitas senyawa bioaktif yang terkandung di dalamnya. Selain itu, interaksi antara fitokimia dan matriks pangan dapat memengaruhi bioavailabilitasnya setelah dikonsumsi. Oleh karena itu, pendekatan holistik diperlukan dalam pengembangan inovasi pangan sehat agar manfaat fisiologis fitokimia dapat dioptimalkan.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki kekayaan biodiversitas yang sangat besar dan menjadi sumber potensial berbagai fitokimia alami. Tanaman rempah, umbi-umbian berwarna, buah tropis, daun hijau, serta tanaman obat tradisional merupakan sumber penting senyawa bioaktif yang bernilai fungsional tinggi. Keanekaragaman hayati tersebut tidak hanya mendukung ketahanan pangan, tetapi juga membuka peluang pengembangan industri pangan fungsional, farmasi, dan kosmetik berbasis bahan alam. Pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan menjadi kunci dalam menjaga keseimbangan antara nilai ekonomi dan kelestarian lingkungan (Kadir et al., 2024).

Selain berasal dari tanaman pangan dan hortikultura, senyawa fitokimia juga banyak ditemukan pada hasil hutan bukan kayu (HHBK). Produk seperti getah, damar, resin, rotan, bambu, kulit kayu, daun, buah hutan, serta tanaman obat hutan mengandung berbagai metabolit sekunder yang berpotensi sebagai antioksidan, antimikroba, dan antiinflamasi (Daud, 2011). HHBK memiliki nilai strategis karena dapat dimanfaatkan tanpa menebang pohon, sehingga mendukung prinsip pengelolaan hutan lestari. Eksplorasi kandungan bioaktif dari HHBK membuka peluang inovasi produk pangan sehat berbasis sumber daya hutan tropis (Daud, 2025b).

Lebih lanjut, jaringan kayu juga mengandung zat ekstraktif yang termasuk dalam kelompok metabolit sekunder. Zat ekstraktif kayu merupakan komponen non-struktural yang dapat larut dalam pelarut organik atau air panas, dan sering kali terdiri atas senyawa fenolik, terpenoid, resin asam, serta tanin (Daud, 2010); (Daud, Syafii and Syamsu, 2013). Senyawa-senyawa ini berperan dalam ketahanan alami kayu terhadap serangan jamur, serangga, dan mikroorganisme. Dalam perspektif bioaktif, beberapa zat ekstraktif kayu menunjukkan potensi sebagai antioksidan dan antimikroba yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan produk bernilai tambah (Daud, Hikmah and Hendri, 2019); (Daud et al., 2024).

Komponen kimia kayu tidak hanya terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin sebagai struktur utama, tetapi juga fraksi ekstraktif yang memiliki fungsi biologis spesifik (Daud, 2025a); (Daud, Syafii and Syamsu, 2014). Zat

ekstraktif ini bervariasi tergantung spesies, umur pohon, dan kondisi lingkungan tumbuhnya (Daud, Syafii and Syamsu, 2012a); (Daud, Syafii and Syamsu, 2012b). Kandungan fenolik dan tanin dalam ekstraktif kayu, misalnya, memiliki aktivitas biologis yang relevan dengan konsep fitokimia dalam pangan dan kesehatan. Dengan demikian, biodiversitas hutan Indonesia tidak hanya penting dari sisi kayu sebagai bahan konstruksi, tetapi juga sebagai sumber senyawa bioaktif potensial untuk inovasi pangan sehat (Fengel and Wegener, 1989).

Integrasi antara pemanfaatan tanaman pangan lokal dan hasil hutan bukan kayu dapat memperluas spektrum eksplorasi fitokimia nasional. Pendekatan ini mendorong kolaborasi antara sektor kehutanan, pangan, dan bioteknologi dalam mengembangkan produk berbasis sumber daya alam secara berkelanjutan. Melalui penelitian yang terstandar dan pengolahan yang tepat, senyawa bioaktif dari sumber hutan tropis berpotensi menjadi bagian dari sistem inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal Indonesia (Daud et al., 2021); (Daud and Ma'rifah, 2025); (Daud, 2014). Pemanfaatan sumber daya lokal ini tidak hanya mendukung ketahanan pangan nasional, tetapi juga membuka peluang pengembangan produk pangan fungsional berbasis kearifan lokal (Daud et al., 2025); (Samrin et al., 2024). Dengan dukungan riset ilmiah yang memadai, fitokimia dari sumber daya lokal dapat menjadi fondasi inovasi pangan sehat berkelanjutan (Liu, 2004).

8.2 Klasifikasi Senyawa Fitokimia

Fitokimia dapat dikelompokkan berdasarkan struktur kimia dan aktivitas biologisnya, sehingga memudahkan pemahaman mengenai fungsi fisiologisnya dalam tubuh manusia (Achmadi, 1990). Pengelompokan ini juga membantu dalam proses identifikasi, ekstraksi, serta pengembangan produk pangan fungsional berbasis sumber daya lokal. Secara umum, kelompok utama fitokimia meliputi senyawa fenolik, karotenoid, alkaloid, saponin, dan glukosinolat. Masing-masing kelompok memiliki karakteristik

kimia, stabilitas, serta mekanisme kerja biologis yang berbeda. Variasi struktur kimia tersebut menentukan kelarutan, bioavailabilitas, serta interaksi dengan komponen lain dalam matriks pangan.

8.2.1 Senyawa Fenolik

Senyawa fenolik merupakan kelompok fitokimia terbesar dan paling luas diteliti dalam bidang ilmu pangan dan gizi karena aktivitas antioksidannya yang kuat. Struktur kimianya yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik memungkinkan senyawa ini bertindak sebagai donor elektron untuk menetralkan radikal bebas. Aktivitas tersebut menjadikan senyawa fenolik berperan penting dalam mencegah stres oksidatif yang berkaitan dengan berbagai penyakit degeneratif. Selain itu, stabilitas dan reaktivitasnya sangat dipengaruhi oleh struktur molekul serta kondisi lingkungan seperti pH dan suhu.

Di Indonesia, berbagai sumber daya lokal kaya akan senyawa fenolik dan telah lama dimanfaatkan dalam pola konsumsi masyarakat. Kunyit dikenal mengandung senyawa fenolik seperti kurkuminoid, sedangkan teh hijau kaya akan flavonoid terutama katekin. Ubi ungu merupakan sumber antosianin yang memberikan warna ungu khas sekaligus aktivitas antioksidan tinggi. Jambu biji juga mengandung berbagai flavonoid dan asam fenolat yang berkontribusi terhadap kapasitas antioksidan buah tersebut.

Secara klasifikasi, senyawa fenolik meliputi beberapa subkelompok utama, yaitu flavonoid, asam fenolat, tanin, dan antosianin. Flavonoid merupakan kelompok terbesar dengan struktur dasar cincin C6-C3-C6 yang banyak ditemukan pada daun, buah, dan bunga. Asam fenolat biasanya hadir dalam bentuk terikat pada dinding sel tanaman dan berperan dalam perlindungan terhadap patogen. Tanin dikenal memiliki kemampuan mengikat protein, sedangkan antosianin berfungsi sebagai pigmen alami yang memberikan warna merah, ungu, hingga biru pada bahan pangan.

Dari sisi biologis, senyawa fenolik berfungsi menangkal radikal bebas melalui mekanisme donasi hidrogen atau elektron sehingga menghentikan

reaksi berantai oksidatif. Senyawa ini juga mampu menghambat oksidasi LDL yang berperan dalam pembentukan plak aterosklerosis pada pembuluh darah. Selain itu, aktivitas protektifnya mencakup perlindungan sel terhadap kerusakan DNA akibat stres oksidatif dan paparan zat karsinogenik. Konsumsi pangan kaya fenolik secara rutin dikaitkan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular serta peningkatan kesehatan metabolik secara umum.

8.2.2 Karotenoid

Karotenoid merupakan kelompok pigmen alami yang memberikan warna kuning, oranye, hingga merah pada berbagai bahan pangan nabati. Senyawa ini bersifat larut dalam lemak (lipofilik) sehingga penyerapannya dalam tubuh dipengaruhi oleh keberadaan lemak dalam makanan. Secara kimia, karotenoid termasuk golongan tetraterpenoid yang tersusun dari rantai panjang ikatan rangkap terkonjugasi, struktur yang berperan dalam aktivitas antioksidannya. Selain memberikan warna menarik pada pangan, karotenoid juga berfungsi sebagai komponen bioaktif penting bagi kesehatan manusia.

Berbagai sumber daya lokal Indonesia kaya akan karotenoid dan mudah dijumpai dalam konsumsi sehari-hari. Wortel dikenal sebagai sumber beta-karoten yang tinggi, sedangkan tomat kaya akan likopen yang memberikan warna merah khas. Minyak sawit merah mengandung campuran karotenoid dalam konsentrasi signifikan, menjadikannya salah satu sumber alami provitamin A. Labu kuning juga merupakan sumber beta-karoten yang potensial dan sering dimanfaatkan dalam berbagai produk pangan tradisional maupun inovatif.

Beberapa jenis karotenoid penting dalam pangan meliputi beta-karoten, likopen, lutein, dan zeaxanthin. Beta-karoten berfungsi sebagai provitamin A karena dapat dikonversi menjadi retinol di dalam tubuh sesuai kebutuhan fisiologis. Likopen dikenal memiliki aktivitas antioksidan kuat dan banyak diteliti terkait perannya dalam kesehatan prostat. Sementara

itu, lutein dan zeaxanthin banyak terakumulasi di retina mata dan berperan dalam menjaga fungsi penglihatan.

Dari sisi kesehatan, karotenoid berperan sebagai prekursor vitamin A yang penting untuk pertumbuhan, sistem imun, dan kesehatan epitel. Lutein dan zeaxanthin membantu melindungi mata dari kerusakan akibat paparan cahaya biru serta menurunkan risiko degenerasi makula terkait usia. Sebagai antioksidan, karotenoid mampu menetralkan radikal bebas dan mengurangi stres oksidatif dalam tubuh. Sejumlah penelitian juga menunjukkan bahwa konsumsi karotenoid tertentu, seperti likopen, berkaitan dengan penurunan risiko kanker prostat dan gangguan degeneratif lainnya.

8.2.3 Alkaloid

Alkaloid merupakan kelompok senyawa bioaktif yang mengandung atom nitrogen dalam struktur kimianya dan umumnya bersifat basa. Senyawa ini termasuk metabolit sekunder tanaman yang memiliki efek fisiologis kuat terhadap tubuh manusia maupun hewan. Karena aktivitas biologisnya yang signifikan, alkaloid banyak dimanfaatkan dalam bidang farmasi dan pangan. Namun, sifat farmakologis tersebut juga menuntut kehati-hatian dalam penggunaannya agar tetap berada dalam batas aman konsumsi.

Beberapa tanaman lokal yang umum dikonsumsi masyarakat Indonesia mengandung alkaloid dalam jumlah tertentu. Kopi merupakan sumber kafein yang berperan sebagai stimulan alami, sedangkan kakao mengandung teobromin dengan efek yang lebih ringan terhadap sistem saraf. Selain itu, berbagai tanaman herbal tradisional juga diketahui mengandung jenis alkaloid tertentu dengan karakteristik bioaktivitas yang beragam. Keberadaan alkaloid pada bahan pangan sering kali berkontribusi terhadap rasa pahit khas yang dihasilkan (Supriadi et al., 2024).

Secara biologis, alkaloid dikenal memiliki efek stimulasi terhadap sistem saraf pusat, sehingga dapat meningkatkan kewaspadaan dan mengurangi rasa lelah. Selain itu, beberapa alkaloid menunjukkan aktivitas antimikroba yang membantu menghambat pertumbuhan bakteri atau jamur tertentu.

Pada jenis tertentu, alkaloid juga memiliki potensi antikanker melalui mekanisme penghambatan proliferasi sel abnormal atau induksi apoptosis. Aktivitas ini menjadikan alkaloid sebagai senyawa yang menarik untuk penelitian lanjutan dalam pengembangan pangan fungsional dan terapeutik.

Meskipun memiliki berbagai manfaat, penggunaan alkaloid dalam pangan harus mempertimbangkan batas keamanan konsumsi. Konsumsi berlebihan dapat menimbulkan efek samping seperti gangguan tidur, peningkatan denyut jantung, atau gangguan pencernaan, terutama pada individu sensitif. Oleh karena itu, regulasi dan standarisasi kadar alkaloid dalam produk pangan sangat penting untuk melindungi konsumen. Pendekatan ilmiah dalam pengolahan dan formulasi produk diperlukan agar manfaat alkaloid dapat diperoleh tanpa menimbulkan risiko kesehatan.

8.2.4 Saponin

Saponin merupakan salah satu kelompok senyawa fitokimia yang banyak ditemukan pada berbagai tanaman pangan dan tanaman obat (Rusmiati, Latifah and Daud, 2021). Secara kimia, saponin tersusun atas gugus glikosida yang terikat pada struktur triterpenoid atau steroid. Senyawa ini termasuk metabolit sekunder yang berperan dalam sistem pertahanan alami tanaman terhadap hama dan patogen. Dalam konteks pangan fungsional, saponin mendapat perhatian karena aktivitas biologisnya yang beragam dan potensial bagi kesehatan.

Di Indonesia, saponin banyak ditemukan pada kedelai, daun kelor, serta beberapa jenis umbi lokal yang dikonsumsi masyarakat. Kedelai sebagai bahan baku tempe dan tahu mengandung saponin dalam jumlah cukup signifikan. Daun kelor yang dikenal sebagai tanaman multiguna juga memiliki kandungan saponin yang berkontribusi terhadap nilai fungsionalnya. Keberadaan saponin pada bahan pangan ini membuka peluang pengembangan produk inovatif berbasis sumber daya lokal.

Secara karakteristik fisik, saponin memiliki sifat khas yaitu mampu membentuk busa ketika dikocok dalam air, sehingga dinamakan dari kata

“sapo” yang berarti sabun. Sifat ini disebabkan oleh struktur molekulnya yang memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik sekaligus. Selain itu, saponin sering memberikan rasa pahit ringan pada bahan pangan yang mengandungnya. Karakteristik ini perlu diperhatikan dalam formulasi produk agar tetap diterima secara sensori oleh konsumen.

Dari sisi kesehatan, saponin diketahui berperan dalam menurunkan kadar kolesterol melalui mekanisme pengikatan asam empedu di saluran pencernaan sehingga meningkatkan ekskresinya. Senyawa ini juga menunjukkan aktivitas imunomodulator yang dapat membantu meningkatkan respons sistem imun tubuh. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan potensi saponin dalam membantu pengendalian kadar gula darah, sehingga berkontribusi terhadap efek antidiabetes. Dengan pengolahan yang tepat, saponin dapat menjadi komponen penting dalam pengembangan pangan sehat berbasis bahan lokal.

8.2.5 Glukosinolat

Glukosinolat merupakan kelompok senyawa fitokimia yang secara alami banyak ditemukan pada tanaman dari famili Brassicaceae. Senyawa ini termasuk metabolit sekunder yang mengandung unsur sulfur dan nitrogen dalam strukturnya. Dalam kondisi utuh, glukosinolat relatif stabil dan tersimpan di dalam vakuola sel tanaman. Namun, ketika jaringan tanaman dipotong, dikunyah, atau dihancurkan, senyawa ini akan mengalami reaksi enzimatis yang mengubahnya menjadi bentuk aktif (Herr and Büchler, 2010).

Sayuran yang umum dikonsumsi masyarakat Indonesia dan kaya glukosinolat antara lain sawi, kubis, dan brokoli. Ketiga jenis sayuran ini sering digunakan dalam berbagai olahan tradisional maupun modern. Kandungan glukosinolat pada masing-masing jenis sayuran dapat berbeda tergantung varietas, kondisi budidaya, serta metode pengolahan. Oleh karena itu, pemilihan bahan baku dan teknik pengolahan menjadi faktor penting dalam mempertahankan kandungan senyawa bioaktifnya.

Ketika jaringan tanaman rusak, enzim mirosinase akan menghidrolisis glukosinolat menjadi berbagai senyawa turunan, terutama isothiocyanate. Senyawa turunan inilah yang banyak dikaji karena aktivitas biologisnya yang signifikan. Isothiocyanate diketahui memiliki sifat kemopreventif melalui mekanisme penghambatan aktivasi zat karsinogenik dan peningkatan proses detoksifikasi dalam tubuh. Aktivitas ini menjadikan sayuran Brassicaceae penting dalam pola makan sehat.

Secara fisiologis, isothiocyanate berperan dalam menginduksi enzim detoksifikasi fase II di hati yang membantu menetralkan dan mengeluarkan senyawa berbahaya dari tubuh. Selain itu, senyawa ini juga menunjukkan aktivitas antikanker melalui penghambatan proliferasi sel abnormal dan induksi apoptosis. Konsumsi rutin sayuran sumber glukosinolat dikaitkan dengan penurunan risiko beberapa jenis kanker. Dengan pengolahan yang tepat dan tidak berlebihan, kandungan glukosinolat dapat dipertahankan untuk mendukung manfaat kesehatannya.

8.3 Senyawa Bioaktif dari Sumber Daya Lokal Indonesia

Indonesia sebagai negara tropis memiliki tingkat biodiversitas yang sangat tinggi dan menjadi sumber potensial pengembangan pangan fungsional. Kekayaan tanaman rempah, umbi-umbian berwarna, daun herbal, serta komoditas perkebunan memberikan peluang besar dalam eksplorasi senyawa bioaktif alami. Berbagai tanaman lokal tidak hanya berperan sebagai bahan pangan, tetapi juga memiliki nilai terapeutik yang telah dimanfaatkan secara turun-temurun. Pendekatan ilmiah modern semakin memperkuat bukti mengenai manfaat kesehatan dari senyawa bioaktif tersebut, sehingga mendukung inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal (Daud, 2025b).

Kunyit (*Curcuma longa*) merupakan salah satu komoditas rempah unggulan Indonesia yang mengandung kurkumin sebagai senyawa aktif

utama. Kurkumin dikenal memiliki aktivitas antioksidan yang mampu menetralkan radikal bebas serta mengurangi stres oksidatif dalam tubuh. Selain itu, kurkumin memiliki efek antiinflamasi melalui penghambatan mediator inflamasi dan menunjukkan potensi antikanker melalui modulasi jalur sinyal seluler. Senyawa ini juga berperan sebagai hepatoprotektor yang membantu melindungi fungsi hati dari kerusakan akibat toksin. Pemanfaatan kurkumin kini berkembang dalam bentuk minuman herbal, ekstrak, suplemen, hingga produk pangan fortifikasi.

Ubi ungu merupakan sumber antosianin yang melimpah dan berkontribusi pada warna ungu khasnya. Antosianin termasuk kelompok flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi signifikan. Konsumsi antosianin dikaitkan dengan penurunan risiko sindrom metabolik melalui perbaikan sensitivitas insulin dan profil lipid darah. Selain manfaat fisiologis, antosianin juga dimanfaatkan sebagai pewarna alami pangan yang relatif stabil pada kondisi pH rendah. Potensi ini menjadikan ubi ungu sebagai bahan baku strategis dalam pengembangan produk pangan sehat dan alami.

Teh, terutama teh hijau, mengandung katekin dengan epigallocatechin gallate (EGCG) sebagai komponen paling aktif. Katekin dikenal sebagai antioksidan kuat yang mampu melindungi sel dari kerusakan oksidatif dan stres metabolik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa EGCG memiliki potensi antikanker, antiobesitas, serta aktivitas antimikroba terhadap beberapa patogen. Proses pengolahan sangat memengaruhi kadar katekin, di mana pengolahan minimal seperti pada teh hijau mempertahankan kandungan katekin lebih tinggi dibandingkan fermentasi penuh pada teh hitam. Hal ini menjadikan teknik pengolahan sebagai faktor penting dalam mempertahankan nilai fungsional teh.

Bawang putih menghasilkan allicin ketika jaringan umbinya dihancurkan atau dicincang, melalui reaksi enzimatis antara alliin dan enzim alliinase. Allicin memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur yang kuat sehingga berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Selain itu, senyawa ini menunjukkan efek antihipertensi melalui

mekanisme vasodilatasi dan membantu menjaga kesehatan sistem kardiovaskular. Aktivitas kardioprotektif allicin juga berkaitan dengan kemampuannya menurunkan kadar kolesterol dan tekanan darah. Namun, stabilitas allicin relatif rendah sehingga teknik pengolahan dan konsumsi segar sangat menentukan efektivitas biologisnya.

Secara keseluruhan, senyawa bioaktif dari sumber daya lokal Indonesia memiliki potensi besar dalam mendukung pengembangan pangan fungsional berbasis kearifan lokal. Kurkumin, antosianin, katekin, dan allicin menunjukkan mekanisme kerja yang beragam namun saling melengkapi dalam menjaga kesehatan (Aggarwal and Harikumar, 2009). Pengembangan produk inovatif berbasis senyawa tersebut memerlukan standarisasi bahan baku, optimasi proses pengolahan, serta dukungan penelitian klinis. Dengan pendekatan ilmiah yang tepat, kekayaan hayati Indonesia dapat dioptimalkan sebagai fondasi industri pangan sehat berkelanjutan (Hikmah and Daud, 2025).

8.4 Mekanisme Kerja Senyawa Bioaktif dalam Tubuh

Senyawa bioaktif dalam pangan bekerja melalui berbagai mekanisme molekuler yang kompleks dan saling berkaitan. Mekanisme tersebut melibatkan interaksi pada tingkat seluler hingga regulasi ekspresi gen. Tidak seperti zat gizi makro yang terutama berfungsi sebagai sumber energi atau bahan pembangun, senyawa bioaktif lebih banyak berperan dalam proses regulasi dan proteksi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai mekanisme kerjanya menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional yang efektif dan berbasis bukti ilmiah.

Salah satu mekanisme utama adalah aktivitas sebagai antioksidan langsung yang mampu menetralkan radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul tidak stabil yang dapat merusak lipid, protein, dan DNA melalui proses oksidasi. Senyawa bioaktif seperti flavonoid, karotenoid, dan polifenol

dapat mendonorkan elektron untuk menstabilkan radikal bebas tersebut. Dengan demikian, senyawa ini membantu mengurangi stres oksidatif yang berperan dalam perkembangan berbagai penyakit degeneratif.

Selain bertindak sebagai antioksidan langsung, beberapa senyawa bioaktif juga menginduksi enzim detoksifikasi fase II di dalam hati. Enzim ini berfungsi meningkatkan proses konjugasi dan eliminasi zat berbahaya dari tubuh. Mekanisme ini sering dikaitkan dengan aktivasi jalur transkripsi tertentu yang mengatur sistem pertahanan sel. Dengan meningkatnya aktivitas enzim detoksifikasi, tubuh menjadi lebih efisien dalam menetralkan senyawa karsinogenik dan toksin lingkungan.

Senyawa bioaktif juga dapat memodulasi ekspresi gen yang berperan dalam jalur inflamasi, proliferasi sel, dan apoptosis. Regulasi ini memungkinkan penghambatan mediator inflamasi yang berlebihan serta pengendalian pertumbuhan sel abnormal. Selain itu, beberapa senyawa mampu menghambat enzim tertentu, seperti α -glukosidase di saluran pencernaan, sehingga membantu mengendalikan kenaikan kadar gula darah setelah makan. Mekanisme ini sangat relevan dalam pencegahan dan pengelolaan diabetes melitus tipe 2.

Interaksi senyawa bioaktif dengan mikrobiota usus juga menjadi perhatian dalam penelitian modern. Senyawa tertentu dapat berfungsi sebagai substrat bagi bakteri menguntungkan dan mendukung keseimbangan ekosistem mikroba usus. Perubahan komposisi mikrobiota ini berpengaruh terhadap metabolisme, sistem imun, dan kesehatan secara keseluruhan. Dengan demikian, efek senyawa bioaktif tidak hanya bersifat langsung, tetapi juga dimediasi melalui interaksi dengan komunitas mikroorganisme dalam tubuh.

Efektivitas senyawa bioaktif dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk bioavailabilitas, interaksi dengan matriks pangan, proses pencernaan, serta variasi genetik individu. Bioavailabilitas menentukan seberapa besar senyawa dapat diserap dan mencapai jaringan target dalam bentuk aktif. Matriks pangan dapat meningkatkan atau justru menghambat pelepasan senyawa selama pencernaan. Selain itu, perbedaan genetik antarindividu

dapat memengaruhi respons biologis terhadap senyawa bioaktif tertentu. Oleh karena itu, pendekatan nutrigenomik dan personalisasi gizi semakin relevan dalam pengembangan pangan fungsional berbasis senyawa bioaktif (Scalbert, Johnson and Saltmarsh, 2005).

8.5 Pengaruh Pengolahan terhadap Kandungan Fitokimia

Proses pengolahan pangan memiliki peran penting dalam menentukan kadar dan aktivitas senyawa fitokimia dalam produk akhir. Setiap perlakuan fisik, kimia, maupun biologis dapat memicu perubahan struktur molekul yang berdampak pada stabilitas dan bioavailabilitas senyawa bioaktif. Dalam beberapa kasus, pengolahan dapat meningkatkan ketersediaan hayati suatu senyawa, tetapi pada kondisi lain justru menyebabkan degradasi. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan harus mempertimbangkan karakteristik spesifik masing-masing fitokimia.

Beberapa bentuk pengolahan memberikan dampak positif terhadap kandungan atau aktivitas biologis senyawa bioaktif. Pemanasan ringan pada tomat, misalnya, dapat meningkatkan ketersediaan likopen karena proses pelunakan jaringan memudahkan pelepasan senyawa dari matriks sel. Fermentasi pada kedelai mampu meningkatkan bioaktivitas isoflavin melalui konversi bentuk glikosida menjadi bentuk aglikon yang lebih mudah diserap tubuh. Selain itu, metode pengeringan tertentu dapat meningkatkan konsentrasi relatif senyawa fenolik akibat penurunan kadar air, sehingga aktivitas antioksidan per satuan berat menjadi lebih tinggi.

Sebaliknya, pengolahan yang tidak terkontrol dapat menimbulkan dampak negatif terhadap stabilitas fitokimia. Pemanasan berlebih berpotensi merusak vitamin dan flavonoid yang sensitif terhadap suhu tinggi. Oksidasi selama penyimpanan, terutama pada kondisi terpapar oksigen dan suhu tinggi, dapat menurunkan aktivitas antioksidan secara signifikan. Paparan cahaya, khususnya sinar ultraviolet, juga dapat merusak pigmen sensitif

seperti antosianin dan karotenoid sehingga mengurangi nilai fungsional dan estetika produk pangan.

Stabilitas fitokimia juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH, kadar air, dan interaksi dengan komponen lain dalam matriks pangan. Senyawa tertentu lebih stabil dalam kondisi asam, sedangkan pada pH netral hingga basa dapat mengalami degradasi lebih cepat. Interaksi antara protein, lemak, dan polifenol dapat memengaruhi pelepasan dan penyerapan senyawa dalam sistem pencernaan. Dengan memahami faktor-faktor ini, proses pengolahan dapat dirancang untuk memaksimalkan retensi senyawa bioaktif.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, berbagai strategi inovasi telah dikembangkan dalam industri pangan. Teknologi pengeringan suhu rendah, seperti pengeringan beku, mampu mempertahankan struktur kimia dan aktivitas antioksidan lebih baik dibanding metode konvensional. Encapsulasi senyawa bioaktif menggunakan bahan pembawa tertentu dapat melindungi komponen sensitif dari oksidasi dan degradasi selama penyimpanan. Fermentasi berbasis mikroba lokal juga menjadi pendekatan potensial untuk meningkatkan nilai fungsional sekaligus mempertahankan karakteristik tradisional produk.

Pendekatan minimal processing technology semakin relevan dalam pengembangan pangan sehat berbasis sumber daya lokal. Teknologi ini bertujuan meminimalkan kerusakan nutrisi dan fitokimia dengan mengurangi perlakuan termal berlebihan. Dengan kombinasi inovasi teknologi dan pemahaman ilmiah mengenai stabilitas senyawa bioaktif, industri pangan dapat menghasilkan produk yang tidak hanya aman dan menarik secara sensori, tetapi juga memiliki manfaat kesehatan optimal. Penelitian menunjukkan bahwa metode pengolahan sangat menentukan retensi dan aktivitas antioksidan dalam bahan pangan nabati (Nicoli et al., 1999).

Bab 9

Antioksidan, Serat, dan Prebiotik Alami

9.1 Pendahuluan

Perubahan pola makan masyarakat dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan pergeseran yang cukup signifikan. Konsumsi pangan tradisional yang umumnya kaya serat dan komponen alami semakin tergantikan oleh pangan olahan dengan kandungan gula, lemak, dan garam yang tinggi, namun relatif rendah komponen bioaktif. Kondisi ini berkontribusi terhadap meningkatnya kasus penyakit tidak menular seperti obesitas, diabetes mellitus tipe 2, penyakit jantung, dan beberapa jenis kanker. Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa pola makan rendah serat dan rendah antioksidan berkaitan erat dengan meningkatnya stres oksidatif, peradangan kronis tingkat rendah, serta ketidakseimbangan mikrobiota usus, yang pada akhirnya mempengaruhi kesehatan secara menyeluruh.

Stres oksidatif terjadi ketika jumlah radikal bebas dalam tubuh lebih tinggi dibandingkan kemampuan tubuh untuk menetralsirnya. Radikal bebas terbentuk secara alami dari proses metabolisme, namun dapat meningkat akibat paparan polusi, asap rokok, radiasi, maupun pola makan yang kurang sehat. Jika tidak dikendalikan, radikal bebas dapat merusak sel, protein, dan materi genetik.

Dalam konteks inilah antioksidan berperan penting. Antioksidan adalah senyawa yang mampu menetralkan radikal bebas sehingga mencegah kerusakan sel. Senyawa ini banyak ditemukan pada bahan pangan nabati seperti buah, sayuran, rempah, sereal utuh, dan umbi-umbian. Studi terkini melaporkan bahwa konsumsi pangan kaya antioksidan berhubungan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular dan gangguan metabolik (Shahidi & Ambigaipalan, 2022; Cory et al., 2023).

Selain antioksidan, serat pangan merupakan komponen penting yang sering kali kurang mendapat perhatian dalam pola makan modern. Serat adalah salah satu jenis karbohidrat yang didapatkan dari bagian tanaman dan tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia, tetapi memiliki manfaat besar bagi kesehatan. Serat membantu memperlambat penyerapan gula dalam darah, menurunkan kadar kolesterol, serta meningkatkan rasa kenyang.

Lebih dari itu, serat difermentasi oleh bakteri baik di usus besar dan menghasilkan asam lemak rantai pendek yang berperan dalam menjaga kesehatan dinding usus dan mengurangi peradangan. Sejumlah publikasi ilmiah terbaru menegaskan bahwa asupan serat yang cukup berkaitan dengan penurunan risiko diabetes tipe 2, penyakit jantung, dan kanker usus besar (Reynolds et al., 2019; Barber et al., 2024).

Tren penelitian saat ini juga menyoroti pentingnya salah satu fungsi serat yaitu prebiotik yang secara selektif menjadi “makanan” bagi bakteri baik di usus. Berbeda dengan probiotik yang berupa mikroorganisme hidup, prebiotik merupakan senyawa alami yang tidak dicerna di usus halus tetapi difermentasi di usus besar. Konsumsi prebiotik terbukti dapat meningkatkan jumlah bakteri menguntungkan seperti *Bifidobacterium* dan

Lactobacillus, yang berperan dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus dan mendukung sistem kekebalan tubuh (Gibson et al., 2017; Swanson et al., 2020). Penelitian terbaru juga menunjukkan adanya hubungan antara kesehatan usus dengan kesehatan metabolik dan bahkan kesehatan mental, yang dikenal sebagai hubungan usus-otak.

Di Indonesia, pemanfaatan sumber daya pangan lokal yang kaya antioksidan, serat, dan prebiotik, seperti umbi-umbian, sereal, buah tropis, serta berbagai rempah merupakan sumber alami komponen bioaktif yang potensial, namun belum seluruhnya dimanfaatkan secara optimal dalam pengembangan produk pangan sehat. Dengan pendekatan inovasi berbasis sumber daya lokal, komoditas-komoditas lokal tersebut dapat dimanfaatkan untuk menciptakan berbagai produk pangan fungsional yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi dasar, tetapi juga berperan dalam upaya pencegahan penyakit degeneratif karena tingginya kandungan senyawa bioaktif di dalamnya.

Pembahasan dalam bab ini difokuskan pada pemahaman mendasar mengenai antioksidan, serat pangan, dan prebiotik alami, termasuk sumber-sumbernya dalam bahan pangan lokal serta peran fisiologisnya dalam menjaga kesehatan. Pemahaman ini diharapkan menjadi landasan ilmiah dalam pengembangan inovasi pangan sehat berbasis potensi lokal Indonesia.

9.2 Antioksidan Alami dalam Pangan Lokal

Antioksidan merupakan senyawa yang berperan dalam melindungi sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas. Radikal bebas adalah molekul tidak stabil yang terbentuk secara alami selama proses metabolisme tubuh, tetapi jumlahnya dapat meningkat akibat paparan polusi, asap rokok, radiasi, stres, serta pola makan yang kurang sehat. Secara molekuler, radikal

bebas merupakan molekul yang kekurangan elektron, sehingga molekul tersebut berusaha mengambil elektron dari atom sel lain yang stabil.

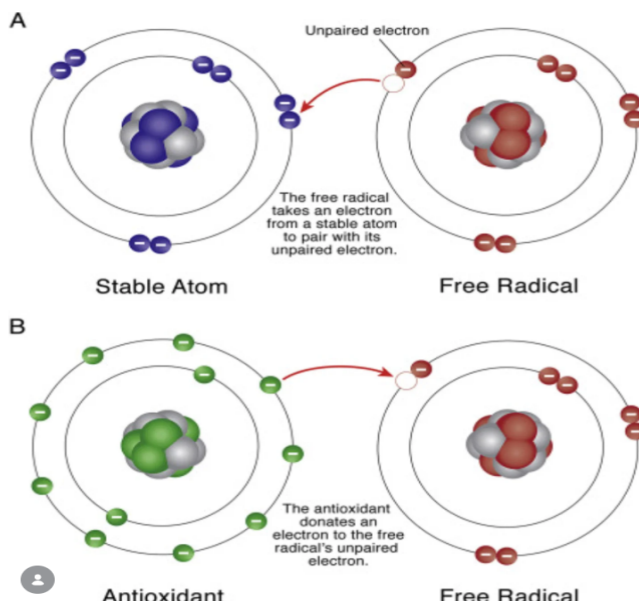
Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektron sehingga radikal bebas menjadi lebih stabil dan tidak lagi merusak sel. Jika antioksidan dalam tubuh tidak mampu lagi menstabilkan radikal bebas karena jumlahnya berlebihan, tubuh mengalami kondisi yang dikenal sebagai stres oksidatif. Kondisi ini berkontribusi terhadap proses penuaan dini serta perkembangan berbagai penyakit degeneratif seperti diabetes, penyakit jantung, dan kanker. Mekanisme radikal bebas dan antioksidan dapat dilihat pada Gambar 9.1.

Untuk menetralkan radikal bebas, tubuh sebenarnya memiliki mekanisme pertahanan alami, namun sistem ini sering kali tidak cukup, terutama ketika paparan radikal bebas meningkat. Oleh karena itu, asupan antioksidan dari pangan menjadi penting. Secara umum, antioksidan dalam pangan dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok utama. Kelompok pertama adalah vitamin, seperti vitamin C dan vitamin E. Di antara sumber pangan lokal, vitamin C banyak ditemukan pada buah dan sayuran segar, seperti daun kelor, jambu biji, dan manggis.

Vitamin E banyak terdapat pada biji-bijian dan minyak nabati, antara lain kedelai, biji bunga matahari, dan minyak sawit. Kelompok kedua adalah senyawa fenolik atau polifenol, yang banyak ditemukan pada tanaman. Senyawa ini meliputi flavonoid, tanin, dan asam fenolat yang sangat tinggi kandungannya pada ubi ungu dan beras hitam. Kelompok ketiga adalah karotenoid, seperti beta-karoten dan likopen, yang memberi warna kuning, jingga, dan merah pada buah serta sayuran. Rempah-rempah seperti kunyit dan jahe mengandung kurkuminoid dan gingerol yang telah banyak diteliti memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsumsi pangan tinggi antioksidan berhubungan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular dan gangguan metabolik. Polifenol dari bahan pangan nabati diketahui dapat membantu mengurangi peradangan dan memperbaiki fungsi pembuluh darah (Cory et al., 2023). Demikian pula,

senyawa fenolik dalam rempah dan sereal utuh dilaporkan memiliki aktivitas penangkal radikal bebas yang signifikan (Shahidi & Ambigaipalan, 2022).



Gambar 9.1: Mekanisme ketidakstabilan radikal bebas (A) dan donor elektron oleh antioksidan (B). (Sumber: <https://www.instagram.com/p/DSnF3LYCSSY/>)

Selain itu, antioksidan juga berperan dalam menghambat proses oksidasi lipid yang dapat memicu kerusakan sel dan jaringan dalam tubuh. Pemanfaatan bahan pangan lokal yang kaya senyawa bioaktif berpotensi menjadi strategi penting dalam mendukung pola makan sehat dan pencegahan penyakit degeneratif (Cory et al., 2023; Shahidi & Ambigaipalan, 2022). Tabel berikut menyajikan berbagai komoditas pangan lokal dan kandungan senyawa yang mempunyai aktivitas antioksidan di dalamnya.

Tabel 9.1: Kandungan senyawa antioksidan pada komoditas pangan lokal

Komoditas Pangan	Senyawa Antioksidan Utama	Kandungan (per 100 g bahan)	Sumber
Kunyit (<i>Curcuma longa</i>)	Kurkumin (kurkuminoid total)	2.000–5.000 mg	Prasad & Aggarwal (2011)
Teh hijau (<i>Camellia sinensis</i>)	Katekin (EGCG dominan)	80–150 mg	Cabrera, Artacho & Giménez (2006)
Kakao (<i>Theobroma cacao</i>)	Flavanol (epikatekin dan katekin)	400–600 mg	Katz et al. (2011)
Buah naga merah (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	Betasianin	30–50 mg	Wu et al. (2006)
Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Likopen	3–10 mg	Rao & Rao (2007)
Bawang merah (<i>Allium cepa</i>)	Kuersetin	20–50 mg	Slimestad, Fossen & Vågen (2007)
Daun kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	Total fenolik	200–350 mg GAE	Leone et al. (2015)
Beras merah	Antosianin dan fenolik	100–250 mg GAE	Shao et al. (2014)

Efektivitas antioksidan tidak hanya ditentukan oleh jumlahnya dalam bahan pangan, tetapi juga oleh daya serap (bioavailabilitas) dalam tubuh. Tabel 1 menunjukkan perubahan beberapa senyawa yang memiliki aktivitas antioksidan akibat proses pengolahan. Proses pemanasan, pengeringan, dan penyimpanan dapat menurunkan kadar beberapa jenis antioksidan, terutama vitamin C yang sensitif terhadap panas. Namun, dalam beberapa kasus, proses tertentu seperti fermentasi justru dapat

meningkatkan ketersediaan senyawa fenolik karena terjadinya pemecahan struktur kompleks dalam matriks pangan.

Selain itu, interaksi antara antioksidan dan komponen pangan lain juga memengaruhi manfaat kesehatannya. Serat pangan, misalnya, dapat berikatan dengan senyawa fenolik dan memengaruhi pelepasannya selama proses pencernaan. Di sisi lain, mikrobiota usus dapat mengubah polifenol menjadi bentuk yang lebih mudah diserap dan lebih aktif secara biologis. Hal ini menunjukkan bahwa manfaat antioksidan tidak berdiri sendiri, tetapi berkaitan erat dengan komponen bioaktif lainnya dalam pangan.

Dalam konteks pengembangan pangan sehat berbasis sumber daya lokal, identifikasi dan pemanfaatan bahan pangan kaya antioksidan menjadi langkah strategis. Tidak hanya sebagai sumber gizi, bahan-bahan tersebut dapat menjadi dasar pengembangan produk pangan fungsional seperti minuman herbal, tepung komposit, camilan sehat, maupun produk fermentasi. Dengan pendekatan teknologi yang tepat, potensi antioksidan dalam bahan lokal dapat dioptimalkan untuk mendukung kesehatan masyarakat sekaligus meningkatkan nilai tambah komoditas pangan daerah.

9.3 Serat Pangan dan Kesehatan

Serat pangan merupakan komponen tanaman yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia, namun memiliki peran fisiologis yang sangat penting bagi kesehatan. Dalam pola makan tradisional, konsumsi serat umumnya lebih tinggi karena banyak berasal dari sereal utuh, umbi-umbian, sayuran, dan kacang-kacangan. Sebaliknya, pola makan modern yang didominasi pangan olahan cenderung rendah serat, sehingga berkontribusi terhadap meningkatnya gangguan metabolik dan pencernaan.

Secara umum, serat pangan dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan kelarutannya dalam air, antara lain:

1. Serat larut, seperti pektin, beta-glukan, dan beberapa jenis gum, membentuk gel dalam saluran pencernaan. Sifat ini membantu memperlambat proses pengosongan lambung dan penyerapan glukosa, sehingga berperan dalam menjaga kestabilan kadar gula darah.
2. Serat tidak larut, seperti selulosa dan lignin, tidak larut dalam air tetapi berfungsi meningkatkan volume feses dan mempercepat pergerakan usus, sehingga membantu mencegah konstipasi.

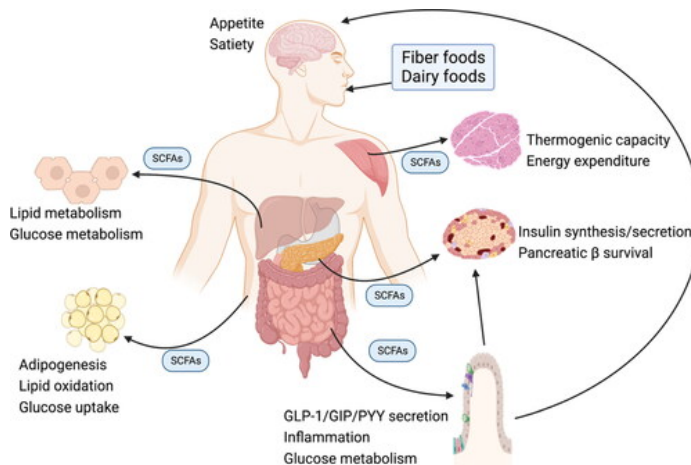
Di dalam tubuh, serat sangat erat kaitannya dengan kesehatan saluran cerna. Sebagian serat difermentasi di usus besar oleh bakteri baik dan menghasilkan asam lemak rantai pendek (short-chain fatty acids/SCFA), seperti asetat, propionat, dan butirat. Senyawa-senyawa ini memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan usus. Butirat, misalnya, merupakan sumber energi utama bagi sel-sel dinding usus besar dan berperan dalam menjaga integritas lapisan usus serta mengurangi peradangan.

Di saluran cerna serat juga dapat mengikat asam empedu, sehingga tubuh menggunakan kolesterol dalam darah untuk membentuk asam empedu baru. Serat juga dapat memperlambat penyerapan glukosa membantu mengurangi lonjakan gula darah setelah makan, yang penting dalam pengelolaan dan pencegahan diabetes. Dari mekanisme yang telah disebutkan, konsumsi serat yang tinggi dikaitkan dengan penurunan risiko penyakit jantung koroner, diabetes tipe 2, dan kanker kolorektal (Reynolds et al., 2019).

Serat juga berperan dalam pengendalian berat badan. Makanan tinggi serat umumnya memberikan rasa kenyang lebih lama karena memperlambat pengosongan lambung dan meningkatkan volume makanan di saluran cerna. Hal ini membantu mengurangi asupan energi secara keseluruhan. Beberapa studi terbaru juga menunjukkan bahwa fermentasi serat oleh

mikrobiota usus dapat memengaruhi regulasi hormon yang berperan dalam rasa lapar dan kenyang (Gambar 9.2).

SCFA yang dihasilkan dari fermentasi serat dapat merangsang pelepasan hormon kenyang seperti glucagon-like peptide-1 (GLP-1) dan peptide YY (PYY). Hormon-hormon tersebut berperan dalam menekan nafsu makan serta meningkatkan sensasi kenyang setelah makan. Dengan mekanisme tersebut, konsumsi serat yang cukup tidak hanya memengaruhi proses pencernaan, tetapi juga membantu mengatur keseimbangan energi tubuh melalui interaksi antara mikrobiota usus, metabolit hasil fermentasi, dan sistem hormonal yang mengontrol nafsu makan (Makki et al., 2018; Holst et al., 2018).



Gambar 9.2: Mekanisme SCFA hasil fermentasi serat dalam meregulasi hormon dan metabolisme dalam tubuh. (Sumber: Tao and Wang, 2025)

Meskipun manfaat serat telah banyak dibuktikan, tingkat konsumsi serat masyarakat Indonesia masih relatif rendah dibandingkan dengan yang direkomendasikan. Hal ini dapat diatasi dengan menciptakan inovasi produk pangan berbasis bahan lokal tinggi serat (Tabel 9.2). Bekatul padi merupakan salah satu sumber serat yang melimpah namun sering kali belum dimanfaatkan secara optimal.

Umbi-umbian seperti singkong, gembili, dan garut juga mengandung serat serta pati resisten (resistant starch) yang memiliki fungsi fisiologis menyerupai serat. Pisang mentah merupakan contoh sumber pati resisten alami yang dapat difermentasi di usus besar dan mendukung kesehatan mikrobiota. Selain itu, kacang-kacangan lokal seperti kacang hijau dan kacang merah juga berkontribusi sebagai sumber serat larut dan tidak larut. Pengembangan tepung komposit, camilan tinggi serat, maupun produk fermentasi berbasis umbi dan sereal lokal dapat menjadi strategi untuk meningkatkan asupan serat masyarakat secara praktis dan berkelanjutan.

Tabel 9.2: Kandungan serat pada komoditas pangan lokal

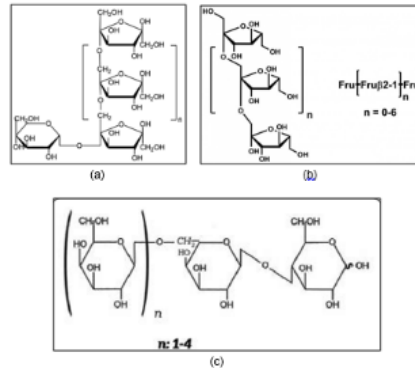
Komoditas Pangan	Kandungan Serat Pangan (g/100 g)	Jenis Serat yang Terkandung	Sumber
Singkong (<i>Manihot esculenta</i>)	1,8 – 2,5	Serat tidak larut	Montagnac, Davis & Tanumihardjo (2009)
Ubi jalar (<i>Ipomoea batatas</i>)	2,5 – 3,3	Serat larut dan tidak larut	Truong et al. (2018)
Pisang (<i>Musa spp.</i>)	2,6 – 3,1	Pektin dan pati resisten	Falcomer et al. (2019)
Jagung (<i>Zea mays</i>)	7 – 9	Serat tidak larut (hemiselulosa)	Serna-Saldivar (2019)
Kacang merah (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	15 – 25	Serat larut, oligosakarida prebiotik	Mudryj, Yu & Aukema (2014)
Rumput laut (<i>Eucheuma cottonii</i>)	25 – 35	Serat larut (karagenan)	Holdt & Kraan (2011)

9.4 Prebiotik Alami dan Kesehatan Mikrobiota Usus

Keseimbangan mikroorganisme yang hidup di dalam saluran pencernaan sangat menentukan kesehatan manusia. Mikroorganisme tersebut, yang dikenal sebagai mikrobiota usus, berperan dalam proses pencernaan, produksi vitamin tertentu, regulasi sistem imun, hingga metabolisme energi. Ketidakseimbangan mikrobiota usus atau disbiosis dikaitkan dengan berbagai gangguan kesehatan seperti obesitas, diabetes tipe 2, penyakit radang usus, dan bahkan gangguan suasana hati.

Dalam konteks ini, prebiotik menjadi komponen pangan yang semakin mendapat perhatian. Prebiotik adalah senyawa yang tidak dicerna di usus halus, tetapi difermentasi secara selektif oleh bakteri baik (probiotik) di usus besar sehingga memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya. Berbeda dengan probiotik yang berupa mikroorganisme hidup, prebiotik merupakan “makanan” bagi mikroorganisme tersebut. Definisi ini telah ditegaskan oleh International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP), yang menyatakan bahwa prebiotik adalah substrat yang secara selektif dimanfaatkan oleh mikroorganisme inang dan memberikan manfaat kesehatan (Gibson et al., 2017).

Sebagian besar prebiotik termasuk dalam kelompok karbohidrat tidak tercerna, seperti inulin, fructooligosaccharides (FOS), dan galactooligosaccharides (GOS). Senyawa-senyawa ini lolos dari pencernaan di usus halus dan mencapai usus besar, tempat bakteri seperti *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* memfermentasikannya menjadi asam-asam lemak rantai pendek seperti asetat, propionat, dan butirat. Inulin, FOS, dan GOS memiliki struktur kimia yang berbeda, tetapi memiliki kesamaan yaitu tersusun dari unit gula yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik yang tidak dapat diputus oleh enzim pencernaan manusia sehingga dapat mencapai usus besar dalam keadaan relatif utuh (Gibson et al., 2017). Struktur kimia dari ketiga senyawa tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3: Struktur kimia dari inulin (a), FOS (b), dan GOS (c). (Sumber: <https://www.mdpi.com/2072-6643/16/17/2935>, <https://www.megazyme.com/fructooligosaccharides>, https://www.researchgate.net/figure/Galacto-oligosaccharides-GOS-Composed-of-galactose-chain-linked-together-with-ss-1-6_fig3_328480551)

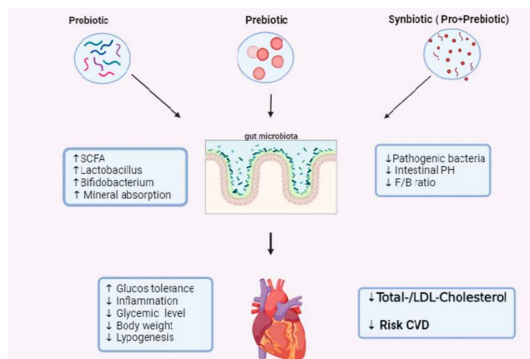
Inulin tersusun dari rantai unit fruktosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik $\beta(2 \rightarrow 1)$ dengan satu unit glukosa pada ujung molekul, serta memiliki derajat polimerisasi yang relatif panjang, yaitu sekitar 2 hingga lebih dari 60 unit fruktosa. FOS memiliki struktur yang mirip dengan inulin, tetapi panjang rantainya lebih pendek, biasanya terdiri dari 2–10 unit fruktosa yang juga terikat melalui ikatan $\beta(2 \rightarrow 1)$ sehingga lebih mudah larut dan lebih cepat difermentasi oleh mikrobiota usus.

Sementara itu, GOS tersusun dari unit galaktosa yang terhubung melalui ikatan $\beta(1 \rightarrow 3)$, $\beta(1 \rightarrow 4)$, atau $\beta(1 \rightarrow 6)$ dengan satu unit glukosa pada ujung molekul, dan umumnya memiliki derajat polimerisasi sekitar 2–8 unit gula. Perbedaan struktur kimia tersebut memengaruhi sifat fungsionalnya, termasuk kelarutan, kecepatan fermentasi oleh mikrobiota usus, serta jenis bakteri yang memanfaatkannya sebagai sumber energi (Gibson et al., 2017; Mensink, Frijlink & Maarschalk, 2015; Torres, Gonçalves & Teixeira, 2019).

Hubungan antara mikrobiota usus dan kesehatan sistemik kini semakin jelas, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Mikrobiota tidak hanya berfungsi secara lokal di saluran cerna, tetapi juga berinteraksi dengan organ lain melalui berbagai jalur biologis. Selain dapat memperlambat penyerapan makanan dan lipogenesis, adanya sinergi antara prebiotik dan probiotik akan menurunkan peradangan serta berat badan.

Salah satu konsep yang berkembang pada penelitian terbaru adalah hubungan usus–otak (gut–brain axis), yang menunjukkan bahwa kondisi mikrobiota dapat memengaruhi respons stres, suasana hati, dan fungsi kognitif. Selain itu, keseimbangan mikrobiota juga berperan dalam menjaga fungsi sistem kekebalan tubuh dan mencegah peradangan kronis tingkat rendah yang menjadi dasar berbagai penyakit metabolik (Makki et al., 2018).

Indonesia memiliki potensi besar sumber prebiotik alami dari bahan pangan lokal. Umbi dahlia dikenal sebagai salah satu sumber inulin yang tinggi. Gembili dan talas juga dilaporkan mengandung karbohidrat tidak tercerna yang berpotensi sebagai prebiotik. Pisang mentah merupakan sumber pati resisten alami yang cukup melimpah dan mudah diakses masyarakat. Selain itu, bawang merah dan bawang putih mengandung fruktooligosakarida yang telah banyak diteliti manfaatnya terhadap pertumbuhan bakteri baik.



Gambar 9.4: Pengaruh probiotik, prebiotik, dan sinbiotik terhadap kesehatan tubuh (Sumber: Ghanbari et al., 2024)

Pemanfaatan bahan-bahan tersebut dalam inovasi pangan sehat memberikan peluang yang signifikan. Tepung berbasis umbi lokal tinggi inulin atau pati resisten dapat diformulasikan menjadi produk roti, biskuit, atau minuman fungsional. Kombinasi antara prebiotik dan probiotik dalam produk fermentasi juga membuka peluang pengembangan pangan sinbiotik berbasis sumber daya lokal. Dengan pendekatan teknologi yang tepat, nilai tambah bahan pangan lokal dapat ditingkatkan sekaligus mendukung kesehatan masyarakat.

Tabel 9.3: Potensi komoditas pangan lokal dengan kandungan prebiotiknya

Komoditas Pangan	Jenis Senyawa Prebiotik	Kandungan Prebiotik	Sumber
Bawang putih (<i>Allium sativum</i>)	Inulin dan FOS	9–16 g/100 g	Muir et al. (2007)
Bawang bombai (<i>Allium cepa</i>)	FOS	1,7–8 g/100 g	Roberfroid (2017)
Pisang (terutama pisang belum matang)	Resistant starch dan FOS	2–6 g/100 g	Falcomer et al. (2019)
Kedelai (<i>Glycine max</i>)	Raffinosa dan stakiosa (oligosakarida)	1–3 g/100 g	Hou et al. (2009)
Umbi dahlia (<i>Dahlia sp.</i>)	Inulin	40–70 % bahan kering	Singh & Singh (2010)

Bab 10

Pangan Lokal dan Pencegahan Penyakit Degeneratif

10.1 Penyakit Degeneratif di Indonesia

Penyakit degeneratif merupakan kelompok penyakit yang terjadi akibat kerusakan atau penurunan fungsi jaringan dan organ tubuh secara progresif seiring dengan proses penuaan maupun pengaruh gaya hidup yang tidak sehat. Penyakit ini umumnya berkembang secara perlahan dalam jangka waktu lama dan sering kali tidak menunjukkan gejala yang jelas pada tahap awal. Seiring perkembangan penyakit, kerusakan pada sel dan jaringan tubuh akan semakin berat sehingga menimbulkan gangguan kesehatan yang signifikan (Fatihaturahmi et al., 2023).

Beberapa contoh penyakit degeneratif yang banyak ditemukan di masyarakat antara lain penyakit kardiovaskuler, diabetes melitus tipe 2, hipertensi, obesitas, kanker, osteoporosis, serta penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson. Penyakit-penyakit tersebut sering

dikaitkan dengan perubahan metabolisme tubuh, stres oksidatif, inflamasi kronis, serta ketidakseimbangan antara radikal bebas dan sistem antioksidan dalam tubuh (Setiawan et al., 2024).

Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia mengalami perubahan pola penyakit dari penyakit menular menuju penyakit tidak menular atau penyakit degeneratif. Fenomena ini dikenal sebagai transisi epidemiologi, yang banyak dipengaruhi oleh perubahan gaya hidup masyarakat, urbanisasi, serta peningkatan kesejahteraan ekonomi yang diikuti dengan perubahan pola konsumsi pangan.

Data berbagai survei kesehatan menunjukkan bahwa prevalensi penyakit degeneratif di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Penyakit kardiovaskuler menjadi salah satu penyebab utama kematian, diikuti oleh diabetes melitus, kanker, dan penyakit metabolik lainnya. Peningkatan prevalensi obesitas juga menjadi faktor penting yang mempercepat munculnya berbagai penyakit degeneratif (Setiawan et al., 2024).

Perubahan pola makan masyarakat menjadi salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan penyakit degeneratif. Konsumsi pangan tinggi energi, lemak jenuh, gula, dan garam, seperti halnya makanan ultra-proses meningkat secara signifikan. Sebaliknya, konsumsi pangan berserat serta mengandung senyawa bioaktif, seperti kacang-kacangan, sayur dan buah masih relatif rendah. Pola makan seperti ini meningkatkan risiko gangguan metabolik seperti resistensi insulin, dislipidemia, serta peradangan kronis yang berhubungan dengan berbagai penyakit degeneratif (Tambunan, 2025).

Disamping pola makan yang kurang sehat, perkembangan teknologi dan perubahan gaya hidup menyebabkan aktivitas fisik masyarakat semakin menurun. Kurangnya aktivitas fisik meningkatkan risiko obesitas, hipertensi, serta diabetes melitus. Risiko terjadinya penyakit tersebut semakin meningkat dengan adanya paparan radikal bebas berlebihan yang menyebabkan kerusakan sel dan jaringan tubuh serta proses penuaan alami yang menyebabkan penurunan fungsi fisiologis tubuh, termasuk sistem metabolisme dan sistem imun. Jika tidak diimbangi dengan sistem

antioksidan yang cukup, kondisi ini dapat memicu berbagai penyakit degeneratif.

Upaya pencegahan penyakit degeneratif dapat dilakukan melalui berbagai strategi, salah satunya adalah dengan mengonsumsi pangan yang kaya senyawa bioaktif dan memiliki aktivitas biologis yang bermanfaat bagi kesehatan. Dalam konteks ini, berbagai pangan lokal Indonesia memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional yang dapat membantu mencegah perkembangan penyakit degeneratif.

10.2 Potensi Pangan Lokal dalam Pencegahan Penyakit Degeneratif

Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, termasuk dalam hal sumber daya pangan lokal. Berbagai bahan pangan tradisional yang telah lama dikonsumsi masyarakat ternyata memiliki kandungan gizi dan senyawa bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan yang signifikan (Setiawan et al., 2024). Contoh pangan lokal yang memiliki potensi sebagai pangan fungsional antara lain tempe, dadih, tape, beras hitam, ubi jalar, singkong, talas, sukun, kelor, dan bunga telang. Pangan-pangan tersebut tidak hanya memiliki nilai budaya dan ekonomi, tetapi juga berpotensi mendukung kesehatan masyarakat apabila dimanfaatkan secara optimal.

Pangan fungsional adalah pangan yang selain berfungsi sebagai sumber nutrisi dasar juga memiliki efek fisiologis yang menguntungkan bagi kesehatan serta dapat membantu menurunkan risiko penyakit tertentu. Banyak pangan lokal Indonesia yang memenuhi kriteria sebagai pangan fungsional karena mengandung berbagai senyawa bioaktif. Senyawa bioaktif merupakan komponen kimia dalam bahan pangan yang memiliki aktivitas biologis tertentu di dalam tubuh (Tambunan, 2025).

Beberapa kelompok senyawa bioaktif yang banyak ditemukan dalam pangan lokal Indonesia antara lain:

1. Polifenol dan flavonoid

Senyawa ini berperan sebagai antioksidan yang mampu menangkap radikal bebas sehingga dapat mencegah kerusakan sel.

2. Antosianin

Pigmen alami yang banyak ditemukan pada bahan pangan berwarna ungu atau hitam seperti beras hitam. Antosianin memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi yang tinggi.

3. Serat pangan

Serat pangan berperan dalam menjaga kesehatan sistem pencernaan, menurunkan kadar kolesterol darah, serta membantu mengontrol kadar glukosa darah.

4. Peptida bioaktif

Peptida yang dihasilkan selama proses fermentasi dapat memiliki aktivitas antihipertensi, antioksidan, serta antidiabetes.

5. Probiotik dan mikroorganisme fermentasi

Mikroorganisme yang dihasilkan selama proses fermentasi dapat memberikan manfaat bagi kesehatan saluran pencernaan serta meningkatkan sistem imun tubuh.

Senyawa bioaktif dalam pangan lokal dapat memberikan efek kesehatan melalui berbagai mekanisme biologis, antara lain:

1. Aktivitas antioksidan

Senyawa antioksidan mampu menetralkan radikal bebas yang dapat merusak sel dan jaringan tubuh.

2. Aktivitas antiinflamasi

Banyak senyawa bioaktif mampu menekan respon inflamasi kronis yang berperan penting dalam perkembangan penyakit degeneratif.

3. Pengaturan metabolisme glukosa dan lipid

Beberapa senyawa bioaktif dapat membantu meningkatkan sensitivitas insulin, menurunkan kadar glukosa darah, serta memperbaiki profil lipid.

4. Modulasi mikrobiota usus

Pangan fermentasi dan serat pangan dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme menguntungkan di dalam usus yang berperan penting dalam kesehatan metabolik.

Dengan berbagai mekanisme tersebut, konsumsi pangan lokal yang kaya senyawa bioaktif dapat menjadi strategi preventif yang efektif dalam menurunkan risiko penyakit degeneratif.

10.2.1 Tempe

Tempe merupakan salah satu pangan fermentasi tradisional Indonesia yang telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu, khususnya di Pulau Jawa. Tempe dibuat melalui proses fermentasi kedelai menggunakan kapang dari genus *Rhizopus*, terutama *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae*. Proses fermentasi ini menghasilkan perubahan karakteristik fisik, kimia, dan nutrisi pada kedelai sehingga menghasilkan produk dengan cita rasa khas serta nilai gizi yang tinggi (Ratnaningsih et al., 2025).

Tempe tidak hanya menjadi bagian penting dari budaya kuliner Indonesia, tetapi juga telah dikenal secara luas di berbagai negara sebagai sumber protein nabati yang berkualitas tinggi. Popularitas tempe semakin meningkat seiring dengan meningkatnya minat masyarakat terhadap pangan berbasis nabati dan pangan fungsional (Surya et al., 2024).

Proses pembuatan tempe secara tradisional meliputi beberapa tahap utama, yaitu perendaman, perebusan, pengupasan kulit kedelai, inokulasi starter kapang, serta fermentasi. Pada tahap fermentasi, kapang *Rhizopus* akan tumbuh membentuk miselium putih yang mengikat biji kedelai menjadi satu kesatuan padat. Selama proses fermentasi terjadi berbagai perubahan

biokimia, termasuk pemecahan protein menjadi peptida dan asam amino, degradasi karbohidrat kompleks, serta peningkatan ketersediaan mineral. Proses ini juga menghasilkan berbagai senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap manfaat kesehatan tempe (Sinaga & Tumewu, 2023).

Meskipun tempe umumnya dibuat dari kedelai, berbagai bahan baku lain juga dapat digunakan untuk menghasilkan produk serupa, antara lain: tempe kedelai, tempe gembus (dari ampas tahu), tempe kacang-kacangan, tempe dari biji-bijian atau bahan alternatif lainnya. Variasi bahan baku ini memberikan karakteristik nutrisi yang berbeda, namun tetap mempertahankan manfaat kesehatan dari proses fermentasi (Afifah et al., 2023).

Tempe dikenal sebagai sumber protein nabati yang berkualitas tinggi karena mengandung berbagai asam amino esensial. Selain itu, tempe juga mengandung berbagai komponen nutrisi penting seperti serat pangan, vitamin B kompleks, mineral, serta asam lemak tak jenuh. Proses fermentasi juga meningkatkan kandungan senyawa bioaktif dalam tempe, antara lain: isoflavon (genistein dan daidzein), peptida bioaktif, antioksidan alami, dan senyawa fenolik. Senyawa-senyawa tersebut berperan penting dalam memberikan efek fisiologis yang bermanfaat bagi kesehatan (Surya et al., 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsumsi tempe dapat memberikan manfaat kesehatan yang signifikan. Isoflavon dalam tempe memiliki aktivitas antioksidan yang dapat membantu melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas. Selain itu, peptida bioaktif yang terbentuk selama fermentasi diketahui memiliki aktivitas antihipertensi melalui mekanisme penghambatan enzim angiotensin-converting enzyme (ACE). Aktivitas ini dapat membantu menurunkan tekanan darah dan mengurangi risiko penyakit kardiovaskuler (Sinaga & Tumewu, 2023). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa konsumsi tempe berpotensi membantu menurunkan kadar kolesterol darah, meningkatkan sensitivitas insulin, serta mengurangi risiko obesitas dan sindrom metabolik (Afifah, 2024).

Dengan kandungan nutrisi yang lengkap serta keberadaan berbagai senyawa bioaktif, tempe dapat dikategorikan sebagai salah satu pangan fungsional unggulan Indonesia yang memiliki potensi besar dalam mendukung pencegahan penyakit degeneratif.

10.2.2 Dadih

Dadiah merupakan produk pangan fermentasi tradisional khas Sumatera Barat yang dibuat dari susu kerbau. Produk ini telah lama menjadi bagian dari budaya kuliner masyarakat Minangkabau dan biasanya dikonsumsi sebagai lauk atau makanan pendamping nasi. Dadiah dibuat melalui fermentasi alami tanpa penambahan starter komersial dengan memanfaatkan mikroorganisme alami yang terdapat pada susu kerbau maupun lingkungan fermentasi.

Secara tradisional, susu kerbau segar dimasukkan ke dalam tabung bambu kemudian ditutup menggunakan daun pisang atau daun pisang batu. Proses fermentasi berlangsung secara alami selama sekitar 24–48 jam pada suhu ruang. Selama proses tersebut, mikroorganisme asam laktat berkembang dan menghasilkan asam laktat yang menyebabkan penggumpalan protein susu sehingga terbentuk tekstur khas dadiah yang menyerupai yoghurt atau kefir (Pramana et al., 2025).

Dadiah memiliki kandungan nutrisi yang cukup lengkap, terutama protein berkualitas tinggi, lemak, vitamin, serta mineral seperti kalsium dan fosfor. Selain itu, dadiah juga mengandung berbagai mikroorganisme probiotik yang berasal dari bakteri asam laktat, antara lain dari genus *Lactobacillus*, *Lactococcus*, dan *Leuconostoc*. Mikroorganisme tersebut menghasilkan berbagai metabolit bioaktif selama fermentasi, seperti asam organik, bakteriosin, serta peptida bioaktif. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki aktivitas biologis yang bermanfaat bagi kesehatan, termasuk aktivitas antimikroba, antioksidan, dan imunomodulator (Pramana et al., 2025).

Keberadaan bakteri probiotik dalam dadiah memberikan manfaat penting bagi kesehatan saluran pencernaan dan keseimbangan mikrobiota usus.

Mikroorganisme probiotik dapat meningkatkan fungsi sistem imun, memperbaiki metabolisme lipid, serta membantu menurunkan risiko inflamasi kronis yang berhubungan dengan berbagai penyakit degeneratif. Selain itu, peptida bioaktif yang terbentuk selama fermentasi protein susu diketahui memiliki aktivitas antihipertensi melalui mekanisme penghambatan enzim ACE. Aktivitas ini berpotensi membantu menurunkan tekanan darah dan mengurangi risiko penyakit kardiovaskuler (Pramana et al., 2025).

Dengan demikian, dadih memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional tradisional yang dapat berkontribusi dalam pencegahan penyakit degeneratif, khususnya penyakit metabolik dan kardiovaskuler.

10.2.3 TAPE

Tape merupakan salah satu produk fermentasi tradisional Indonesia yang dibuat melalui fermentasi bahan pangan sumber karbohidrat seperti singkong atau beras ketan menggunakan starter ragi. Mikroorganisme utama dalam ragi tape biasanya terdiri atas khamir (*Saccharomyces cerevisiae*), kapang, serta bakteri asam laktat yang bekerja secara sinergis selama proses fermentasi. Proses pembuatan tape meliputi tahap pengukusan atau perebusan bahan baku, pendinginan, penambahan ragi, dan fermentasi selama beberapa hari. Selama fermentasi, enzim yang dihasilkan mikroorganisme akan menghidrolisis pati menjadi gula sederhana sehingga menghasilkan rasa manis khas pada tape (Nur Fitriana et al., 2023).

Berdasarkan bahan bakunya, tape dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain: tape singkong, tape ketan putih, dan tape ketan hitam. Setiap jenis tape memiliki karakteristik sensori dan komposisi nutrisi yang berbeda tergantung pada bahan baku yang digunakan.

Tape mengandung berbagai nutrisi penting seperti karbohidrat sederhana, vitamin B kompleks, serta sejumlah senyawa bioaktif yang terbentuk selama proses fermentasi. Fermentasi juga meningkatkan ketersediaan nutrisi dan menghasilkan berbagai metabolit seperti asam organik dan

senyawa antioksidan. Selain itu, tape juga mengandung mikroorganisme yang dapat memberikan efek probiotik apabila dikonsumsi dalam jumlah yang cukup.

Konsumsi pangan fermentasi seperti tape dapat membantu meningkatkan kesehatan saluran pencernaan dan mendukung keseimbangan mikrobiota usus. Mikroorganisme fermentasi diketahui berperan dalam meningkatkan metabolisme nutrisi serta menghasilkan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan. Selain itu, proses fermentasi dapat meningkatkan kandungan antioksidan pada bahan pangan sehingga membantu melindungi sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas. Aktivitas antioksidan tersebut berpotensi membantu menurunkan risiko penyakit degeneratif seperti diabetes, penyakit jantung, dan kanker (Setiawan et al., 2024).

10.2.4 Beras Hitam

Beras hitam merupakan salah satu varietas padi lokal yang memiliki warna gelap akibat tingginya kandungan pigmen antosianin pada lapisan aleuron dan perikarp. Beras hitam banyak dibudidayakan di beberapa daerah di Indonesia seperti Jawa Barat, Yogyakarta, Bali, dan Sulawesi. Berbeda dengan beras putih, beras hitam umumnya dipasarkan sebagai beras utuh dengan lapisan bekatul yang masih utuh sehingga kandungan nutrisinya lebih tinggi.

Beras hitam dikenal sebagai sumber berbagai senyawa bioaktif penting, antara lain: antosianin, flavonoid, vitamin E, serat pangan dan mineral. Antosianin merupakan pigmen alami yang memiliki aktivitas antioksidan sangat tinggi dan berperan dalam menangkal radikal bebas dalam tubuh (Pratiwi & Purwestri, 2017).

Kandungan antosianin dalam beras hitam diketahui memiliki berbagai efek fisiologis yang bermanfaat, antara lain aktivitas antioksidan, antiinflamasi, serta kemampuan dalam menghambat oksidasi lipid. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsumsi beras hitam dapat membantu menurunkan kadar kolesterol darah, meningkatkan sensitivitas insulin, serta mengurangi

risiko penyakit kardiovaskuler. Oleh karena itu, beras hitam sering direkomendasikan sebagai salah satu sumber karbohidrat alternatif bagi penderita diabetes atau individu yang berisiko mengalami penyakit metabolik (Pratiwi & Purwestri, 2017).

10.2.5 Ubi Jalar (*Ipomoea batatas*)

Ubi jalar merupakan salah satu sumber karbohidrat penting di Indonesia yang memiliki berbagai varietas berdasarkan warna daging umbinya, antara lain: ubi jalar putih, ubi jalar kuning, ubi jalar oranye, dan ubi jalar ungu. Setiap varietas memiliki komposisi nutrisi dan kandungan senyawa bioaktif yang berbeda.

Ubi jalar merupakan sumber karbohidrat kompleks yang kaya serat pangan serta mengandung berbagai vitamin dan mineral penting. Ubi jalar berwarna oranye kaya akan beta-karoten, sedangkan ubi jalar ungu mengandung antosianin yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi. Selain itu, ubi jalar juga mengandung senyawa fenolik yang berperan dalam melindungi sel tubuh dari kerusakan oksidatif.

Kandungan serat dan indeks glikemik yang relatif moderat menjadikan ubi jalar sebagai sumber karbohidrat yang lebih sehat dibandingkan beberapa bahan pangan lainnya. Konsumsi ubi jalar dapat membantu mengontrol kadar glukosa darah serta meningkatkan kesehatan sistem pencernaan. Selain itu, kandungan antioksidan dalam ubi jalar juga berperan dalam menurunkan stres oksidatif yang berkaitan dengan berbagai penyakit degeneratif seperti diabetes dan penyakit kardiovaskuler (Sari & Prasetyo, 2022).

10.2.6 Singkong (*Manihot esculenta*)

Singkong merupakan salah satu tanaman pangan tropis yang banyak dibudidayakan di Indonesia dan menjadi sumber karbohidrat penting bagi masyarakat. Tanaman ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan sehingga mudah dibudidayakan di berbagai wilayah.

Singkong mengandung karbohidrat dalam bentuk pati yang cukup tinggi serta sejumlah serat pangan, vitamin, dan mineral. Selain itu, singkong juga mengandung beberapa senyawa bioaktif seperti polifenol yang memiliki aktivitas antioksidan.

Dalam konteks kesehatan, singkong dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang relatif rendah lemak. Produk olahan singkong seperti gaplek, growol, atau tepung singkong termodifikasi dapat dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif bagi penderita diabetes karena memiliki potensi indeks glikemik yang lebih rendah dibandingkan beberapa sumber karbohidrat lainnya (Nur Fitriana et al., 2023).

10.2.7 Talas (*Colocasia esculenta*)

Talas merupakan tanaman umbi yang banyak ditemukan di daerah tropis dan telah lama dimanfaatkan sebagai sumber pangan tradisional. Umbi talas kaya akan pati, serat pangan, serta berbagai mineral seperti kalium dan magnesium.

Selain itu, talas juga mengandung senyawa fenolik yang memiliki aktivitas antioksidan. Serat pangan dalam talas berperan dalam meningkatkan kesehatan pencernaan serta membantu mengontrol kadar glukosa dan kolesterol darah.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsumsi talas dapat membantu menurunkan risiko penyakit metabolik seperti diabetes dan penyakit kardiovaskuler karena kandungan serat dan senyawa bioaktifnya (Sari & Prasetyo, 2022).

10.2.8 Sukun (*Artocarpus altilis*)

Sukun merupakan tanaman tropis yang banyak ditemukan di kawasan Asia Tenggara dan Pasifik, termasuk Indonesia. Buah sukun dikenal sebagai sumber karbohidrat yang cukup tinggi serta memiliki potensi sebagai bahan pangan alternatif pengganti beras atau gandum.

Buah sukun memiliki umur simpan yang relatif pendek setelah dipanen. Oleh karena itu, penanganan pasca panen yang tepat sangat penting untuk mempertahankan kualitas buah. Beberapa metode yang dapat dilakukan antara lain pengolahan menjadi tepung sukun, keripik, atau produk pangan olahan lainnya.

Sukun mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, serta senyawa antioksidan lainnya. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki aktivitas antiinflamasi, antidiabetes, serta antioksidan yang dapat membantu menurunkan risiko penyakit degeneratif (Diantari et al., 2023; Mehta et al., 2023).

10.2.9 Kelor (*Moringa oleifera* L.)

Kelor merupakan tanaman yang dikenal luas sebagai superfood karena kandungan nutrisinya yang sangat tinggi. Hampir seluruh bagian tanaman kelor dapat dimanfaatkan, mulai dari daun, biji, hingga akarnya.

Daun kelor mengandung berbagai nutrisi penting seperti protein, vitamin A, vitamin C, kalsium, zat besi, serta berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, polifenol, dan isothiocyanate. Senyawa-senyawa tersebut memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi yang sangat kuat.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ekstrak kelor memiliki potensi dalam menurunkan kadar glukosa darah, mengontrol kadar kolesterol, serta mengurangi stres oksidatif. Oleh karena itu, kelor berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pangan fungsional untuk membantu pencegahan penyakit degeneratif seperti diabetes, hipertensi, dan penyakit jantung (Berawi et al., 2019).

10.2.10 Bunga Telang (*Clitoria ternatea*)

Bunga telang merupakan tanaman yang banyak digunakan sebagai pewarna alami dalam berbagai produk pangan tradisional di Asia Tenggara. Warna biru khas bunga telang berasal dari pigmen antosianin yang disebut ternatin. Bunga telang dapat diaplikasikan dalam berbagai produk pangan

seperti minuman herbal, teh bunga telang, nasi berwarna alami, serta berbagai produk pangan inovatif lainnya.

Bunga telang mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti antosianin, flavonoid dan senyawa fenolik lainnya. Senyawa-senyawa tersebut memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi.

Aktivitas antioksidan pada bunga telang diketahui mampu membantu melindungi sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas serta mengurangi risiko inflamasi kronis. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa bunga telang juga memiliki potensi sebagai agen antidiabetes dan neuroprotektif (Puspitojati, 2024).

Penyakit degeneratif merupakan tantangan kesehatan utama yang semakin meningkat prevalensinya di Indonesia. Pencegahan penyakit tersebut memerlukan pendekatan multidimensional, salah satunya melalui penerapan pola konsumsi pangan sehat.

Indonesia memiliki berbagai jenis pangan lokal yang kaya akan nutrisi dan senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai pangan fungsional. Pangan seperti tempe, dadih, tape, beras hitam, ubi jalar, singkong, talas, sukun, kelor, dan bunga telang memiliki potensi besar dalam mendukung upaya pencegahan penyakit degeneratif melalui aktivitas antioksidan, antiinflamasi, serta regulasi metabolisme.

Pemanfaatan dan pengembangan pangan lokal sebagai bagian dari pola makan sehat tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan kesehatan masyarakat, tetapi juga mendukung ketahanan pangan dan pelestarian keanekaragaman hayati Indonesia.

Bab 11

Stabilitas Komponen Bioaktif selama Pengolahan

11.1 Peran Komponen Bioaktif

Kandungan bioaktif merujuk pada jumlah/konsentrasi senyawa bioaktif yang terdapat dalam pangan atau suplemen, ini adalah ukuran “berapa banyak” senyawa yang tersedia dan berpotensi dilepaskan selama pencernaan. Sementara itu, aktivitas merujuk pada daya kerja biologis senyawa tersebut setelah tersedia/terserap, misalnya kemampuan antioksidan atau anti-inflamasi yang benar-benar muncul sebagai efek fungsional di tubuh. Dengan kata lain, kadar adalah aspek kuantitatif, sedangkan aktivitas adalah aspek fungsional, keduanya tidak selalu berbanding lurus karena ditentukan oleh proses absorpsi dan metabolisme serta sifat fisikokimia senyawa bioaktif itu sendiri (Mittal et al., 2023).

Senyawa bioaktif memainkan peran ganda yang semakin penting dalam industri pangan modern, yakni sebagai nilai kesehatan bagi konsumen

sekaligus nilai jual bagi produsen (Bonilla et al., 2015). Sebagai metabolit sekunder, misalnya polifenol, flavonoid, alkaloid, karotenoid, polisakarida, dan asam lemak tak jenuh ganda, bioaktif dapat berkontribusi pada pencegahan penyakit kronis (kanker, diabetes, obesitas, penyakit kardiovaskular), terutama melalui aktivitas antioksidan dan anti-inflamasi yang menekan stres oksidatif.

Contohnya, antosianin dan fenolik dari black carrot sering dikaitkan dengan atribut pencegahan penyakit, sementara Omega-3 dari mikroalga dilaporkan mendukung kesehatan jantung, regulasi tekanan darah, dan perkembangan neurologis. Di sisi lain, polisakarida, saponin, dan flavonoid dapat berperan sebagai imunomodulator, sedangkan karotenoid seperti lutein dan zeaxanthin dikaitkan dengan kesehatan mata; bahkan komponen tertentu dari alga seperti vitamin B12 dan asam amino dipandang mendukung perkembangan otak serta pencegahan penuaan.

Dari sisi komersial, meningkatnya kesadaran konsumen terhadap hidup sehat membuat bioaktif menjadi komoditas bernilai tinggi melalui pangan fungsional, nutraseutikal, serta pendekatan clean label. Pasar makanan fungsional global diproyeksikan mencapai \$228,79 miliar pada 2025 dengan CAGR 8%, sementara black carrot disebut memiliki CAGR 5,5% (2022–2030) pada pasar konsentrat jus global (Negi et al., 2025).

Tren industri juga mengarah pada pemanfaatan bioaktif sebagai pewarna/pengawet alami (misalnya antosianin untuk warna merah stabil pada pH asam, atau pigmen mikroalga seperti lutein, beta-karoten, astaxanthin), fortifikasi produk harian (roti, pasta, yogurt, biskuit, es krim), peluang paten dan keunggulan kompetitif (lebih dari 320 paten pada 2011–2015), serta waste valorization (ekstraksi bioaktif dari kulit apel, ampas anggur, kulit kopi) yang sejalan dengan prinsip keberlanjutan. Karena itu, bioaktif menjadi “jembatan” antara kebutuhan kesehatan masyarakat dan inovasi produk bernilai ekonomi.

Namun nilai kesehatan dan nilai jual tersebut sangat ditentukan oleh stabilitas, yaitu kemampuan senyawa bertahan dari sisi kadar dan aktivitas biologis selama pemrosesan, penyimpanan, hingga pencernaan. Banyak

bioaktif sensitif terhadap panas, cahaya, oksigen, kelembapan, perubahan pH, dan gaya geser, sehingga mudah terdegradasi, pigmen seperti fucoxanthin rentan terhadap panas/cahaya/asam-basa/oksigen, phycobiliproteins dapat terdenaturasi pada suhu tinggi, dan senyawa seperti vitamin C bisa terurai sebelum terserap; sebaliknya, hydroxycinnamic acids dilaporkan lebih stabil daripada antosianin dalam pencernaan (Kumar et al., 2025).

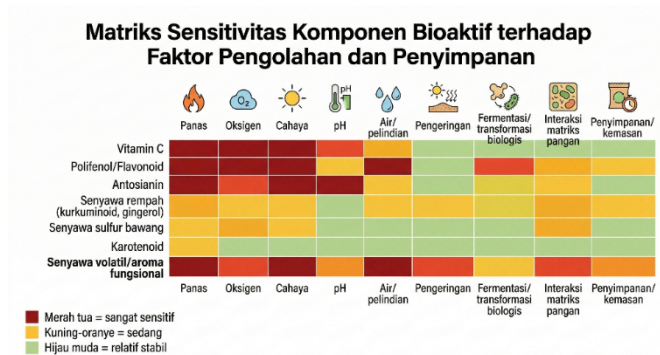
Ketidakstabilan ini berimbas langsung pada:

1. Klaim fungsional (klaim “kaya antioksidan/omega-3” menjadi tidak valid bila bioaktif turun atau tidak bioavailable),
2. Mutu sensori (warna pigmen memudar/berubah, muncul off-flavor; biomassa mikroalga di atas 2% dapat memunculkan aroma amis, sehingga sering perlu masking lewat mikroenkapsulasi),
3. Umur simpan (bioaktif antimikroba/antioksidan dapat menunda oksidasi dan pertumbuhan mikroba, tetapi bioaktif yang sangat peka cepat kehilangan fungsi bila tidak dilindungi).

Karena itu industri memakai strategi seperti enkapsulasi (mis. spray drying yang efektif namun berisiko bagi senyawa thermolabile, atau spray chilling dan freeze-drying untuk bahan sangat sensitif), pemilihan matriks pangan (antosianin black carrot stabil di pH asam; pada matriks susu seperti es krim dilaporkan stabilitasnya baik hingga lebih dari 60 hari), hingga pendekatan rekayasa genetik/omics pada sumber seperti mikroalga untuk memperoleh varian bioaktif yang lebih stabil (Kumar et al., 2025).

Perbedaan karakter setiap komponen bioaktif menyebabkan responsnya terhadap pengolahan dan penyimpanan juga tidak sama. Ada senyawa yang sangat peka terhadap panas dan oksigen, ada yang terutama dipengaruhi pH, cahaya, air proses, atau interaksi dengan matriks pangan. Karena itu, sebelum membahas tiap kelompok bioaktif secara lebih rinci, perlu disajikan gambaran umum mengenai tingkat sensitivitas relatif masing-masing komponen terhadap faktor-faktor utama yang paling sering

dijumpai dalam proses pangan. Gambar 11.1 merangkum matriks sensitivitas tersebut sebagai peta awal untuk memahami mengapa strategi retensi harus disesuaikan dengan karakter tiap senyawa bioaktif.



Gambar 11.1: Matriks sensitivitas berbagai komponen bioaktif terhadap faktor pengolahan dan penyimpanan.

Gambar 11.1 menunjukkan bahwa setiap kelompok komponen bioaktif memiliki titik kritis ketidakstabilan yang berbeda, sehingga pendekatan pengolahan dan penyimpanannya tidak dapat diseragamkan. Atas dasar itu, pembahasan berikut menguraikan karakter stabilitas masing-masing komponen bioaktif secara lebih spesifik, dimulai dari vitamin C sebagai salah satu senyawa yang paling sering digunakan sebagai penanda sensitivitas proses pengolahan.

11.2 Stabilitas Komponen Bioaktif selama pengolahan

11.2.1 Vitamin C

Vitamin C (asam askorbat) adalah vitamin larut air yang berfungsi sebagai antioksidan, mendukung imunitas, dan menjaga kesegaran rasa serta warna produk buah-sayur. Sumber lokalnya antara lain jambu biji, jeruk, pepaya,

cabai, tomat, dan sayuran daun; sedangkan vitamin B banyak terdapat pada sayuran, umbi, kacang-kacangan, dan pangan fermentasi. Karena mudah larut dan mudah teroksidasi, vitamin C kerap digunakan sebagai penanda sensitivitas proses terhadap komponen gizi yang rapuh (Rigaux et al., 2016).

Faktor kritis kehilangan vitamin C ialah panas, oksigen, dan pelindian ke air. Pemanasan mempercepat degradasi, oksigen memicu oksidasi, dan perebusan menyebabkan kehilangan ganda karena vitamin C rusak sekaligus larut ke air rebusan (C. Zeng, 2013). Selama penyimpanan, kehilangan juga dipengaruhi kemampuan kemasan menahan oksigen.

Proses termal, terutama perebusan, umumnya menyebabkan kehilangan terbesar. Pada sayuran daun, perebusan dapat menurunkan vitamin C hingga 94,90% . Pada sayuran lain, kehilangan akibat perebusan sekitar 40,4–54,6%, sedangkan pengukusan hanya 8,6–14,3% dan microwave 21,2–28,1% (C. Zeng, 2013). Pada umbi, vitamin C ubi jalar turun sekitar 71,25% saat cooking dan 61,93% saat frying; pada kentang penurunan masing-masing sekitar 63,43% dan 54,60%. Click or tap here to enter text.

Sebaliknya, beberapa teknologi non-termal/non-konvensional dapat mempertahankan vitamin larut air lebih baik daripada pemanasan konvensional. Pada minuman stroberi skala pilot, teknologi seperti tekanan tinggi atau medan listrik berdenyut menunjukkan retensi vitamin larut air dan mutu warna yang lebih baik pada perlakuan tertentu (Zia et al., 2025). Pada minuman jus, matriks pangan juga memengaruhi bioaksesibilitas vitamin C; formulasi berbasis soymilk dilaporkan lebih tinggi dibanding beberapa matriks lain.

Penyimpanan dan kemasan ikut menentukan laju kehilangan. Pada puree ubi jalar yang disterilisasi termal berbantuan microwave, retensi vitamin C selama simpan dipengaruhi barrier oksigen kemasan polimer ((H. Zhang et al., 2019). Pada kacang buncis kaleng, kadar vitamin C turun dari 17 mg/100 g menjadi 2,3 mg/100 g selama penyimpanan (Rigaux et al., 2016). Pada saus tomat, kemasan berbasis aluminium foil memberi retensi vitamin C lebih baik dibanding beberapa bahan lain.

Berdasarkan pola di atas, strategi retensi vitamin C (dan vitamin B larut air) yang paling praktis adalah:

1. Utamakan proses cepat dan minim air: pilih kukus dibanding rebus bila memungkinkan; atau kurangi rasio air dan waktu kontak bahan dengan air.
2. Kurangi paparan oksigen: tutup wadah saat pemanasan, kurangi pengadukan berlebih, dan minimalkan headspace pada botol/kemasan untuk produk cair.
3. Manfaatkan media bila relevan: jika perebusan tidak dapat dihindari, gunakan air rebusan sebagai bagian dari produk (misalnya kuah/sup/minuman herbal) agar vitamin yang terlarut tidak terbuang [Click or tap here to enter text.](#)
4. Kelola penyimpanan & kemasan: pilih kemasan dengan barrier oksigen lebih baik untuk memperlambat degradasi selama simpan; ini sangat penting pada puree/saus/minuman.
5. Pilih teknologi yang “lebih ramah” bila tersedia: pada skala lebih maju, teknologi non-konvensional tertentu dapat mempertahankan vitamin larut air lebih baik daripada pemanasan konvensional.

Secara aplikatif, UMKM yang memproduksi puree ubi jalar untuk bakery atau snack sehat tidak cukup hanya mengendalikan suhu dan waktu proses, tetapi juga perlu memilih kemasan dengan barrier oksigen baik, headspace kecil, dan penutupan rapat agar kehilangan vitamin C selama simpan lebih lambat. Untuk produk sayuran daun yang diposisikan sebagai kaya vitamin, perebusan lama sebaiknya dihindari karena sangat merusak vitamin C; pengukusan atau blanching singkat lebih disarankan, disertai pemanasan sesingkat mungkin dan pemanfaatan air proses bila digunakan.

11.2.2 Polifenol & Flavonoid

Polifenol dan flavonoid merupakan metabolit sekunder tumbuhan yang berperan dalam aktivitas antioksidan, kesehatan metabolik, dan fungsi protektif lain. Dalam pangan lokal Indonesia, senyawa ini banyak terdapat pada kakao, teh, daun kelor, umbi ungu, kacang-kacangan, jagung, serta berbagai buah, sayur, dan minuman herbal.

Stabilitas polifenol/flavonoid terutama dipengaruhi oleh oksigen, enzim PPO/peroksidase, suhu–waktu, pH terutama basa serta interaksi dengan matriks pangan. Oksidasi merupakan jalur perubahan utama: kadar senyawa dapat menurun atau berubah menjadi polimer/produk baru yang memengaruhi warna dan rasa (J. Zhang et al., 2022). Pada teh, katekin dapat teroksidasi dan berpolimerisasi menjadi theaflavin dan thearubigin yang membentuk warna dan cita rasa khas teh hitam (Li et al., 2025; Sen et al., 2022). Dalam kondisi basa, katekin juga dapat mengalami isomerisasi selama pemrosesan termal (Sen et al., 2022). Selain itu, keterikatan dengan pektin atau hemiselulosa dapat menahan pelepasan senyawa sehingga kadar terukur dan bioaksesibilitasnya sangat dipengaruhi matriks.

Pemanasan dan kontak dengan air umumnya menurunkan fenolik melalui degradasi dan pelindian. Pada common beans, hidrasi lebih lama dan suhu air lebih tinggi meningkatkan degradasi polifenol selama perendaman dan pemasakan. Pada jus delima industri, pasteurisasi, perlakuan enzim, filtrasi, dan konsentrasi termal menurunkan total fenolik, flavonoid, dan antosianin, sedangkan kehilangan melalui air proses juga dilaporkan pada jagung (Lopez-Martinez & Garcia, 2015).

Namun respons tiap senyawa tidak selalu sama: total flavonoid dapat menurun, seperti pada barley hitam (J. Zhang et al., 2022), tetapi senyawa tertentu dapat meningkat akibat pelepasan dari matriks atau transformasi, misalnya rutin pada tahap tertentu pengolahan teh buckwheat (Qin et al., 2013). Pada apel dan stroberi, pengolahan industri tertentu juga menurunkan flavonol dan antosianin secara nyata.

Fermentasi dan proses enzimatis dapat menurunkan sebagian fraksi, tetapi juga meningkatkan fenolik larut atau bentuk yang lebih bioaktif. Pada teh daun jambu biji, fermentasi dan hidrolisis enzim kompleks meningkatkan total fenolik larut, flavonoid aglikon, dan bioaktivitas (L. Wang et al., 2018). Pada teff, fermentasi padat berbasis jamur meningkatkan total fenol fraksi larut, tetapi menurunkan total flavonoid.

Teknologi non-termal dipertimbangkan untuk mempertahankan fenolik sambil menjaga mutu dan keamanan. Pada stroberi dan apel, HPP dilaporkan lebih ramah terhadap stabilitas polifenol dibanding perlakuan termal pada kondisi tertentu. Teknologi non-termal juga dapat memengaruhi bioavailabilitas polifenol, meskipun perlakuan tertentu seperti plasma dingin tetap berpotensi mengubah komponen fenolik sehingga parameter proses harus dioptimalkan.

Secara praktis, retensi polifenol/flavonoid dilakukan dengan meminimalkan kontak oksigen, mengendalikan PPO/peroksidase melalui blanching singkat atau inaktivasi enzim yang tepat, mengurangi penggunaan air atau memanfaatkan air proses dalam produk akhir, menghindari pH basa saat pemanasan, serta mengoptimalkan suhu-waktu proses. Fermentasi atau perlakuan enzimatis juga dapat dimanfaatkan secara terarah untuk meningkatkan fenolik larut, dan bila tersedia, teknologi non-termal seperti HPP layak dipertimbangkan untuk produk cair atau purée.

Pada tataran aplikatif, teh daun jambu biji menunjukkan bahwa fermentasi terkendali dan hidrolisis enzimatis dapat menjadi alternatif yang lebih bernilai dibanding pemanasan lama karena meningkatkan fenolik larut dan bioaktivitas (L. Wang et al., 2018). Sementara itu, pada teh hitam, oksidasi katekin menjadi theaflavin dan thearubigin menunjukkan bahwa penurunan senyawa awal tidak selalu berarti hilangnya nilai, melainkan bisa berupa transformasi yang tetap mendukung fungsi dan mutu sensori, selama oksigen, aktivitas enzim, dan suhu tetap terkendali.

11.2.3 Antosianin

Antosianin adalah pigmen alami pemberi warna merah–ungu–biru pada banyak pangan nabati dan sering dipakai sebagai penanda produk kaya bioaktif. Selain berfungsi sebagai pewarna alami (clean label), antosianin juga dikaji karena potensi antioksidan dan kontribusinya dalam pencegahan penyakit tidak menular. Dalam pangan lokal Indonesia, sumber penting antosianin meliputi beras hitam, ubi jalar ungu, uwi ungu (purple yam), parijoto (*Medinilla speciosa*), serta rosela dan murbei untuk aplikasi pangan dan minuman.

Antosianin sangat sensitif terhadap lingkungan dan proses. Stabilitasnya lebih baik pada pH asam, tetapi turun tajam pada pH netral–basa, sehingga pH menjadi faktor kunci terutama pada minuman dan produk cair (Brauch et al., 2015; Matsufuji et al., 2007). Suhu tinggi dan pemanasan lama mempercepat degradasi, sedangkan cahaya dan oksigen memicu fotodegradasi dan oksidasi yang menyebabkan pemudaran warna serta penurunan fungsi (Matsufuji et al., 2007; Patras et al., 2010). Ion logam seperti Fe dan Cu juga dapat mempercepat kerusakan, sehingga mutu bahan baku, air proses, dan kemasan perlu diperhatikan (Xue et al., 2024). Dalam sistem pangan, antosianin juga dapat dipengaruhi komponen lain, misalnya asam askorbat yang pada kondisi tertentu dapat mempercepat hilangnya warna pada minuman model.

Berbagai proses pengolahan dapat menurunkan atau, pada kondisi tertentu, membantu mempertahankan antosianin. Pemanasan konvensional umumnya menurunkan antosianin dan memudarkan warna, terutama pada pH yang kurang asam (Brauch et al., 2015; Matsufuji et al., 2007; Patras et al., 2010). Pada pengeringan, kehilangan pigmen dipengaruhi metode, parameter proses, dan jenis carrier; hal ini terlihat pada spray drying maupun foam-mat drying untuk bubuk minuman berbasis jus (Lao & Giusti, 2017; Nijum et al., 2025).

Fermentasi tidak selalu berarti penurunan, karena pada sistem tertentu komponen mikroba seperti mannoprotein ragi dapat membantu menstabilkan warna, meski hasilnya tetap bergantung pada mikroba, pH,

oksigen, dan matriks (X. Yin et al., 2026). Teknologi non-termal seperti HPP, thermosonication, dan UV tertentu juga dilaporkan lebih mampu mempertahankan antosianin dibanding pemanasan konvensional pada kondisi tertentu, walau tetap memerlukan optimasi.

Strategi retensi antosianin yang paling aplikatif ialah menjaga pH tetap asam, menekan suhu dan lama pemanasan, menyimpan produk dalam kondisi dingin, serta meminimalkan cahaya dan oksigen dengan wadah tertutup, headspace kecil, dan kemasan pelindung cahaya (Lema et al., 2022; Patras et al., 2010; Saidji et al., 2024; Xue et al., 2024).

Perlindungan juga dapat ditingkatkan melalui enkapsulasi, misalnya dengan maltodekstrin, whey protein isolate, atau alginat, serta melalui kopigmentasi dengan senyawa seperti asam ferulat atau tanin; bahkan kombinasi kopigmentasi dan mikroenkapsulasi dilaporkan efektif meningkatkan stabilitas warna (Chen & Inbaraj, 2019; Farhadi Chitgar et al., 2018; Setianingsih et al., 2025; Tamaroh & Sari, 2024; Tao et al., 2025; Vázquez-González et al., 2025). Bila tersedia, proses non-termal seperti HPP layak dipertimbangkan untuk produk cair yang menargetkan warna cerah dan klaim antioksidan tinggi.

Sebagai studi kasus, rosela (*Hibiscus sabdariffa*) merupakan sumber antosianin populer untuk minuman fungsional, tetapi pigmennya mudah turun selama pascapanen, pemanasan, dan penyimpanan. Stabilitasnya dapat dipertahankan lebih baik dengan kondisi asam, penyimpanan dingin, perlindungan dari cahaya, serta strategi kopigmentasi dan pengaturan simpan (Lema et al., 2022; Saidji et al., 2024). Implikasinya bagi UMKM minuman rosela adalah menghindari pemanasan lama, mempertahankan pH tetap asam, dan memakai kemasan yang menekan cahaya serta oksigen. Pada bahan lain, beras hitam dari beberapa wilayah di Pulau Jawa dilaporkan memiliki kandungan antosianin yang mendukung potensinya sebagai pangan fungsional (Pratiwi & Purwestri, 2017; Sari et al., 2021).

Uwi ungu (*Dioscorea alata*) juga berpotensi sebagai sumber antosianin, dengan stabilitas yang dapat ditingkatkan melalui enkapsulasi maltodekstrin–whey protein isolate untuk aplikasi serbuk, minuman, atau

pewarna alami (Tamaroh & Sari, 2024). Sementara itu, parijoto dilaporkan kaya antosianin dan prospektif untuk aplikasi pangan, tetapi tetap memerlukan pengendalian pH, suhu, oksigen, cahaya, serta opsi enkapsulasi atau kopigmentasi agar stabil sebagai pewarna alami atau minuman siap simpan.

11.2.4 Karotenoid

Karotenoid adalah pigmen lipofilik pemberi warna kuning–oranye–merah pada pangan sekaligus komponen fungsional. β -karoten berperan sebagai provitamin A, likopen banyak dikaji terkait stres oksidatif dan risiko penyakit kronis, sedangkan lutein penting bagi kesehatan mata dan juga bersifat antioksidan (Sahar et al., 2018; Toti et al., 2018). Dalam pangan lokal Indonesia, sumber pentingnya meliputi wortel, labu kuning, ubi jalar oranye, tomat, sayuran hijau, cabai merah, dan minyak sawit merah.

Karotenoid relatif rentan karena mudah mengalami oksidasi, fotodegradasi, degradasi termal, dan isomerisasi. Stabilitasnya dipengaruhi oksigen, cahaya, suhu, serta bentuk sistem dispersi seperti minyak, emulsi, atau matriks padat; pada emulsi, pH, kekuatan ionik, jenis emulsifier, dan suhu ikut menentukan kestabilan β -karoten (Qian et al., 2012; Sahar et al., 2018; Santos et al., 2021). Pada likopen, panas dan oksigen merupakan pemicu utama perubahan selama pengolahan (Saini et al., 2020). Meski demikian, beberapa proses atau formulasi juga dapat meningkatkan keterlepasan dan bioaksesibilitas karotenoid, misalnya melalui emulsi yang dirancang lebih protektif.

Pemrosesan termal umumnya menurunkan kadar karotenoid, terutama pada proses intensif seperti penggorengan. Pada wortel, kultivar dan metode proses seperti air drying, air frying, dan deep frying berpengaruh nyata terhadap kadar serta stabilitas karotenoid (Schmiedeskamp et al., 2022), sementara parameter suhu–waktu juga menentukan perubahan fitokimia secara umum (Fartoosi et al., 2025). Pada roti, esterifikasi dilaporkan dapat meningkatkan retensi karotenoid selama proses pembuatan.

Pengeringan memperpanjang umur simpan, tetapi sering menurunkan karotenoid bila suhu, cahaya, oksigen, atau lama proses terlalu tinggi. Pada ubi jalar oranye, pengeringan oven memberi retensi lebih baik daripada penjemuran matahari (Vimala et al., 2011), sedangkan pada sayuran lain pengeringan juga dapat menurunkan β -karoten, α -karoten, dan lutein secara nyata (Piyarach et al., 2020). Pada cabai merah, freeze-drying memberi retensi tertinggi, diikuti vacuum drying, sementara kenaikan suhu pengeringan menurunkan total karotenoid (Krzykowski et al., 2024).

Pada proses basah seperti steeping, karotenoid juga dapat berkurang bila durasinya terlalu lama, seperti dilaporkan pada jagung oranye untuk ogi (Ortiz et al., 2019). Teknologi non-termal seperti HPP dipertimbangkan karena dapat lebih menjaga ekstraktabilitas, kapasitas antioksidan, dan daya simpan karotenoid dibanding sterilisasi panas pada kondisi tertentu (Schmidt et al., 2022). Prinsip serupa terlihat pada minyak sawit merah, yang mempertahankan karotenoid jauh lebih baik daripada minyak sawit hasil pemurnian suhu tinggi dan bleaching berat.

Secara praktis, retensi karotenoid dilakukan dengan membatasi oksigen dan cahaya melalui kemasan rapat dan gelap, memakai panas secukupnya, memilih pengeringan terkontrol daripada penjemuran terbuka, serta menyimpan produk pada suhu rendah (Dias et al., 2014; Gunjević et al., 2024; Piyarach et al., 2020; Sahar et al., 2018; Saini et al., 2020; Schmiedeskamp et al., 2022; Vimala et al., 2011). Untuk produk cair atau bubuk, mikroenkapsulasi, nanoemulsi, atau emulsi minyak-dalam-air dapat membantu melindungi karotenoid sekaligus meningkatkan bioaksesibilitas

Sebagai contoh, ubi jalar oranye sangat prospektif sebagai bahan baku tepung, flakes, atau serbuk minuman karena kaya β -karoten. Pengeringan oven dilaporkan mampu mempertahankan karotenoid total sekitar 91% dan β -karoten sekitar 96%, sedangkan penjemuran matahari hanya sekitar 63–73% akibat paparan cahaya dan oksigen yang lebih besar (Vimala et al., 2011).

Pada cabai merah, karotenoid khas seperti capsanthin dan capsorubin menentukan warna dan nilai fungsional, dan retensinya lebih baik pada

freeze-drying atau vacuum drying dibanding metode bersuhu tinggi (Sidorenko et al., 2021; Villa-Rivera & Ochoa-Alejo, 2020). Sementara itu, minyak sawit merah menunjukkan bahwa proses yang lebih ringan mampu mempertahankan α - dan β -karoten jauh lebih baik daripada pemurnian penuh pada suhu tinggi.

11.2.5 Senyawa Rempah (Kurkuminoid, Gingerol) & Senyawa Sulfur (Bawang)

Kunyit (*Curcuma longa*) dan jahe (*Zingiber officinale*) kaya senyawa bioaktif non-volatil seperti kurkuminoid (kurkumin, DMC, BMC) dan Gingerol yang banyak dikaji karena aktivitas anti-inflamasi, antioksidan, dan efek biologis lain (Amalraj et al., 2017; Jacob, 2016). Bawang putih (*Allium sativum*) mengandung senyawa sulfur seperti thiosulfinate/allicin dan turunannya yang membentuk aroma khas sekaligus berkontribusi pada aktivitas antimikroba, antitrombotik, dan efek fungsional lain (Ariga & Seki, 2006; Rose et al., 2018; Seki & Hosono, 2025). Dalam pangan lokal, ketiganya banyak dipakai pada bumbu, minuman tradisional, bubuk rempah, hingga bawang hitam.

Stabilitas senyawa ini dipengaruhi faktor yang berbeda. Kurkuminoid rentan terhadap pH netral-basa, suhu tinggi, cahaya, dan berbagai kondisi stres; dalam bentuk cair, degradasinya jauh lebih besar dibanding bentuk padat (Lee et al., 2010a; Peram et al., 2017). Gingerol peka terhadap pemanasan dan pengeringan karena dapat berubah menjadi shogaol, sehingga proses termal sangat menentukan profil akhirnya (Dalsasso et al., 2022; S. Zeng et al., 2023). Senyawa sulfur bawang putih lebih reaktif dan volatil, mudah berubah selama pengolahan, serta sensitif terhadap oksigen dan panas.

Pemanasan umumnya mempercepat degradasi kurkuminoid dan dapat menurunkan sebagian aktivitas antioksidan; pada pemasakan rumah tangga, kurkumin juga dapat berubah menjadi produk degradasi lain (Esatbeyoglu et al., 2015; Lee et al., 2010; Suresh et al., 2009). Pada bawang putih, perebusan dan penggorengan cenderung menurunkan thiosulfinate

dan aktivitas antioksidan, sedangkan microwave singkat dapat lebih mempertahankan beberapa parameter mutu.

Pengeringan merupakan tahap kritis pada produk bubuk. Pada jahe, pengeringan menurunkan Gingerol dan mendorong transformasi menjadi shogaol; misalnya kadar Gingerol dilaporkan turun dari 1,5 mg/g menjadi 0,89 mg/g setelah pengeringan (Dalsasso et al., 2022). Parameter seperti daya microwave dan suhu udara panas perlu dioptimalkan karena dapat membantu pelepasan awal tetapi juga mempercepat degradasi bila terlalu tinggi (S. Zeng et al., 2023). Pada kunyit, pengeringan, pemasakan, dan penggilingan juga dapat mengubah profil kimia serta mutu fungsional-sensoris, sedangkan metode yang lebih ringan seperti supercritical CO₂ dilaporkan memberi retensi kurkuminoid lebih baik dibanding oven.

Fermentasi juga mengubah profil senyawa. Pada bawang putih, pembuatan bawang hitam mengubah komposisi organosulfur dan dapat meningkatkan aktivitas antioksidan, meski profil senyawa sulfurnya berubah nyata (Ammelia et al., 2020). Teknologi non-termal seperti HPP dan ultrasound juga dilaporkan berpotensi lebih baik dalam mempertahankan senyawa sulfur volatil dibanding perlakuan panas, dan secara umum relevan untuk bahan fungsional yang kaya komponen sensitif.

Secara praktis, retensi senyawa rempah dan sulfur dilakukan dengan membatasi suhu dan lama proses, menghindari pemanasan berulang, serta memilih pemanasan cepat bila hanya diperlukan untuk rasa, aroma, atau keamanan (Jo & Surh, 2016; Lee et al., 2010b). Kurkuminoid lebih stabil pada kondisi lebih asam dan dalam sistem pembawa seperti emulsi dibanding larutan sederhana (Kharat et al., 2017). Pada jahe dan kunyit bubuk, pengeringan perlu dikendalikan agar tidak terlalu panas atau terlalu lama; bila tersedia, teknologi seperti supercritical CO₂ dapat meningkatkan retensi kurkuminoid (Kaur et al., 2025; M. Yin et al., 2023; S. Zeng et al., 2023).

Untuk bawang putih, pembatasan oksigen saat pascapanen, pengeringan, dan penyimpanan, serta penggunaan proses yang lebih lembut atau non-termal, dapat membantu mempertahankan senyawa sulfur volatil (Y. Wang

et al., 2026; Xie et al., 2025). Enkapsulasi dan sistem pembawa berbasis emulsi juga banyak dibahas untuk meningkatkan stabilitas kurkumin selama pengolahan dan penyimpanan.

Pada tingkat aplikasi, UMKM pembuat bubuk kunyit perlu menghindari pengeringan yang terlalu keras karena dapat menurunkan kurkuminoid, sedangkan metode yang lebih ringan memberi retensi lebih baik (Yin et al., 2023; Kaur et al., 2025). Kurkuminoid juga lebih rentan pada fase cair, sehingga paparan panas berlebih pada larutan sebaiknya dibatasi dan, bila memungkinkan, digunakan sistem pembawa yang lebih protektif (Lee et al., 2010; Kharat et al., 2017). Pada bawang putih, pemanasan intensif lebih mudah merusak komponen bioaktif, sedangkan pengeringan lembut, pembatasan oksigen, dan opsi non-termal dapat membantu menekan degradasi senyawa sulfur

11.2.6 Senyawa Volatil/Aroma Fungsional

Senyawa volatil, terutama minyak atsiri, berperan besar dalam cita rasa dan aroma produk, sekaligus dapat memberi fungsi antimikroba, antioksidan, dan anti-inflamasi yang dimanfaatkan pada pangan, kosmetik, dan pengobatan tradisional (Chaurasia et al., 2021; Mohammed et al., 2025; Tsao & Zhou, 2007). Dalam pangan lokal Indonesia, sumber pentingnya meliputi cengkeh, kayu manis, pala, lada, serai, daun jeruk, kemangi, kunyit, jahe, lengkuas, dan berbagai rempah/herbal lain yang kaya terpenoid, fenilpropanoid, aldehida, ester, dan senyawa volatil lain.

Tantangan utama senyawa aroma adalah sifatnya yang mudah menguap dan mudah berubah selama proses. Suhu tinggi mempercepat penguapan dan degradasi, sedangkan pH, kekuatan ionik, oksigen, dan cahaya dapat mengubah pelepasan maupun profil aromanya melalui oksidasi atau perubahan ikatan dengan komponen pangan (Ammari & Schroen, 2018; Chokumnoyporn & Samakradhamrongthai, 2025). Retensi aroma juga sangat dipengaruhi perpindahan massa dan matriks pangan: lipid cenderung menahan aroma lipofilik, protein dapat mengikat aroma

tertentu, sementara gula dan karbohidrat memodulasi pelepasannya melalui perubahan aktivitas air dan lingkungan molekuler.

Pemanasan dapat mengurangi komponen aroma asli melalui volatilisasi dan oksidasi, tetapi juga membentuk aroma baru, misalnya akibat reaksi Maillard, sehingga profil aroma dapat bergeser dari segar ke panggang, karamel, atau bahkan off-odor bila tidak terkendali (Buhr et al., 2010; Chokumnoyporn & Samakradhamrongthai, 2025). Pada rempah dan herbal, pengeringan menjadi tahap kritis karena menentukan stabilitas simpan sekaligus kehilangan volatil; hasilnya sangat bergantung pada metode, misalnya freeze-drying, hot-air drying, penjemuran, oven, atau EHD drying yang memberi profil aroma berbeda (Hazarika & Gosztola, 2020; Mujumdar & Law, 2010; Walia et al., 2020; Zhao et al., 2023).

Fermentasi juga dapat membentuk atau memperkaya aroma melalui pembentukan ester, alkohol, asam, pirazin, dan pelepasan aroma dari prekursor glikosida oleh enzim mikroba seperti β -glukosidase (Muradova et al., 2023; Rodriguez-Campos et al., 2011). Sementara itu, proses non-termal atau proses yang lebih lembut umumnya dipertimbangkan untuk mempertahankan fresh notes, meski tetap perlu optimasi karena sebagian perlakuan dapat mempercepat pelepasan atau reaksi tertentu bila terlalu intensif.

Secara praktis, retensi aroma dilakukan dengan mengendalikan suhu-waktu, memakai sistem lebih tertutup, memilih metode pengeringan sesuai tujuan, mengurangi oksigen dan cahaya selama simpan, serta memanfaatkan matriks lemak, emulsi, protein, atau gula untuk mengatur pelepasan aroma (Ammari & Schroen, 2018; Bortnowska, 2010; Hazarika & Gosztola, 2020; Paravisini & Guichard, 2016; Pittia et al., 2015). Bila diperlukan, enkapsulasi dan sistem controlled release dapat digunakan untuk melindungi volatil aktif, termasuk pada kemasan aktif. Pada rempah bubuk, penggilingan juga harus diperhatikan karena panas gesek mempercepat kehilangan aroma; teknik cold atau cryogenic grinding dilaporkan mampu meningkatkan retensi volatil dan mutu sensori.

Pada lada, misalnya, kehilangan aroma terbesar sering terjadi saat penggilingan karena panas gesek mempercepat penguapan komponen terpen. Studi pada lada hitam menunjukkan cryogenic grinding dapat mempertahankan volatil lebih baik daripada penggilingan konvensional, sehingga aroma bumbu lebih tajam dan stabil (Shelake & Dabhi, 2019). Pada kakao, sebaliknya, aroma khas justru dibentuk selama fermentasi dan pengeringan; mutu coklat sangat ditentukan oleh kontrol waktu fermentasi, kondisi pengeringan, dan aktivitas enzim mikroba yang melepaskan aroma dari prekursor non-volatil (Muradova et al., 2023). Bagi UMKM, ini menegaskan bahwa aroma fungsional tidak cukup hanya berasal dari bahan baku, tetapi sangat ditentukan oleh ketepatan proses, penggilingan, dan pengemasan.

Meskipun setiap komponen bioaktif memiliki karakter ketidakstabilan yang berbeda, prinsip mempertahankannya selama pengolahan dan penyimpanan pada dasarnya menunjukkan pola yang sama. Secara umum, retensi bioaktif ditentukan oleh kemampuan proses dalam menekan paparan panas, oksigen, cahaya, air berlebih, dan kondisi pH yang tidak sesuai, serta oleh pemilihan kemasan dan sistem pelindung yang tepat. Ringkasan strategi praktis tersebut disajikan pada Gambar 11.2.

Strategi Retensi Komponen Bioaktif selama Pengolahan dan Penyimpanan



Gambar 11.2: Strategi umum retensi komponen bioaktif selama pengolahan dan penyimpanan.

Gambar 11.2 menegaskan bahwa strategi retensi bioaktif tidak selalu menuntut teknologi yang kompleks, tetapi terutama ketepatan dalam mengelola proses. Prinsip “semakin singkat, semakin lembut, semakin tertutup, dan semakin terkontrol” menjadi benang merah dalam mempertahankan berbagai komponen bioaktif. Dalam praktiknya, keberhasilan produk pangan sehat sangat bergantung pada kemampuan produsen menyesuaikan strategi tersebut dengan karakter bahan baku, jenis senyawa dominan, dan tujuan produk akhir.

Bab ini menegaskan bahwa nilai komponen bioaktif dalam pangan tidak hanya ditentukan oleh kadarnya di bahan baku, tetapi terutama oleh kemampuannya bertahan dan tetap aktif setelah pengolahan, penyimpanan, dan konsumsi. Berbagai kelompok bioaktif, vitamin C, polifenol/flavonoid, antosianin, senyawa rempah dan sulfur, karotenoid, hingga senyawa volatil/aroma fungsional, memiliki kerentanan berbeda terhadap panas, oksigen, cahaya, pH, air proses, pengeringan, fermentasi, serta interaksi dengan matriks pangan. Secara umum, proses yang terlalu keras cenderung menurunkan kadar, aktivitas, warna, aroma, dan mutu fungsional, meskipun pada kondisi tertentu pengolahan juga dapat meningkatkan bioaksesibilitas atau membentuk senyawa baru yang tetap bernilai.

Karena itu, prinsip utama menjaga bioaktif adalah memilih proses yang lebih singkat, lebih lembut, dan lebih terkendali; meminimalkan oksigen, cahaya, dan air berlebih; menjaga pH yang sesuai; memakai kemasan protektif; serta memanfaatkan sistem pelindung seperti emulsi, kopigmentasi, atau enkapsulasi bila diperlukan. Dengan demikian, keberhasilan pengembangan pangan sehat berbasis bahan lokal tidak hanya bergantung pada kekayaan senyawa bioaktifnya, tetapi juga pada ketepatan teknologi pengolahan dan penyimpanan agar manfaat kesehatan, mutu sensori, dan nilai ekonomi dapat dipertahankan secara bersamaan.

Bab 12

Teknologi Sederhana Pengolahan Pangan Sehat

12.1 Pendahuluan

Kebutuhan mendesak akan pilihan pangan yang lebih sehat telah memicu penelitian signifikan ke dalam teknologi pengolahan inovatif yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi pada tanaman pangan pokok (Yuan et al., 2025). Kemajuan ini bertujuan untuk mengurangi masalah kesehatan terkait gizi dengan berfokus pada teknik-teknik baru yang mengurangi kehilangan nutrisi selama persiapan dan pengolahan (Aadil et al., 2023).

Penelitian ini mencakup berbagai pendekatan, termasuk perlakuan panas alternatif dan metode pengawetan non-termal, yang semuanya diarahkan untuk mempertahankan kualitas dan keamanan pangan sambil menyesuaikan dengan preferensi konsumen terhadap produk olahan minimal (Monroy-Torres et al., 2021).

12.1.1 Tantangan Global dalam Pengolahan Pangan Sehat

Evolusi berkelanjutan dalam teknologi pengolahan pangan sangat penting untuk memenuhi permintaan global yang terus meningkat akan produk pangan yang aman, bergizi, dan berkelanjutan (Pokharel, 2023). Khususnya, teknik pengolahan non-termal dan ringan menawarkan harapan signifikan untuk memperpanjang masa simpan pangan sambil meminimalkan dampak buruk pada kandungan nutrisi dan fungsionalitas secara keseluruhan (Rosa et al., 2025). Teknik-teknik ini sangat bermanfaat untuk mengembangkan sistem pangan yang hemat energi dan sadar ekologi, yang semakin penting mengingat tantangan kontemporer seperti pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim (Nawaz et al., 2025).

Inovasi seperti teknologi medan listrik berdenyut, pemanasan ohmik, plasma dingin, dan pemrosesan gelombang mikro, bersama dengan solusi pengemasan canggih, sangat penting untuk meningkatkan eliminasi mikroba dan keamanan produk sambil secara bersamaan menurunkan konsumsi energi (Nawaz et al., 2025; Pokharel, 2023). Teknologi pengolahan pangan hijau ini secara aktif dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan pendekatan konvensional, yang sering kali mengorbankan kualitas nutrisi dan cita rasa karena perlakuan suhu tinggi (Nawaz et al., 2025; Su et al., 2024).

12.1.2 Arah Baru Pengolahan Pangan Sehat

Teknologi baru yang muncul, seperti ultrasonikasi, pemrosesan tekanan tinggi, dan metode enzimatis, menawarkan peningkatan retensi nutrisi, terutama untuk senyawa yang sensitif terhadap panas, dengan menghindari kondisi keras dari pemrosesan termal tradisional (Ağagündüz et al., 2025; Sá et al., 2022). Metode non-termal canggih ini diakui kemampuannya untuk mempertahankan atau bahkan meningkatkan bioavailabilitas nutrisi penting yang sensitif terhadap panas seperti vitamin, mineral, dan antioksidan, sehingga meningkatkan keamanan pangan dan parameter kualitas (Ağagündüz et al., 2025; Gazda & Glibowski, 2024).

Sebagai contoh, tekanan hidrostatik tinggi dan medan listrik berdenyut dapat secara efektif menonaktifkan mikroorganisme dan enzim tanpa secara signifikan mengubah komposisi nutrisi atau atribut sensorik makanan (Hassoun et al., 2022). Lebih jauh lagi, teknologi non-termal ini berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi dalam produksi, pemrosesan, dan pengemasan pangan, menawarkan alternatif berkelanjutan untuk perlakuan termal konvensional (Nawaz et al., 2025; Paucar-Menacho et al., 2024). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk sepenuhnya memahami potensi aplikasi, efektivitas biaya, dan dampaknya terhadap keamanan pangan dan nilai gizi di berbagai matriks pangan yang lebih luas (Mahendran et al., 2023).

12.2 Konsep Dasar Teknologi Non-Termal dalam Pengolahan Pangan Sehat

Teknologi non-termal didefinisikan sebagai metode pengolahan pangan yang tidak mengandalkan panas sebagai mekanisme utama untuk inaktivasi mikroba dan pengawetan. Pendekatan ini mempertahankan suhu ruang atau suhu subletal selama pemrosesan, sehingga meminimalkan degradasi nutrisi dan perubahan sensorik yang tidak diinginkan.

12.2.1 Kategorisasi Teknologi Non-Termal

Teknologi baru dapat dikategorikan ke dalam teknologi pemrosesan non-termal dan termal baru, keduanya menghadirkan keuntungan penting seperti mempertahankan konsentrasi senyawa bioaktif yang lebih tinggi, meningkatkan sifat fungsional, dan meningkatkan keberadaan senyawa volatil, yang secara kolektif membuat produk pangan lebih menarik (Paucar-Menacho et al., 2024).

Tabel 12.1: Klasifikasi Teknologi Pengolahan Pangan Non-Termal

Kategori	Teknologi	Prinsip Dasar	Aplikasi Utama
Non-Termal Fisis	Tekanan Tinggi (HPP)	Tekanan 100-800 MPa	Jus, daging, produk laut
Non-Termal Elektrik	Medan Listrik Berdenyut (PEF)	Elektroporasi membran sel	Jus buah, susu, cairan
Non-Termal Gelombang	Ultrasonikasi	Kavitasi akustik	Ekstraksi, homogenisasi
Non-Termal Radiasi	Sinar UV, Cahaya Berdenyut	Kerusakan DNA mikroba	Permukaan pangan, air
Non-Termal Gas	Plasma Dingin	Spesies reaktif	Dekontaminasi permukaan
Non-Termal Membran	Pemisahan Membran	Filtrasi selektif	Konsentrasi, pemurnian

Teknologi non-thermal, termasuk tekanan tinggi, medan listrik berdenyut, pemrosesan karbon dioksida, dan pemrosesan membran, secara khusus diakui karena kontribusi nilai tambahnya dan perannya sebagai alternatif berkelanjutan untuk perlakuan konvensional, terutama karena konsumsi energi dan airnya yang berkurang (Menta et al., 2022).

12.2.2 Keunggulan Teknologi Non-Termal

Beberapa teknik non-thermal, termasuk medan listrik berdenyut, ultrasonikasi, plasma dingin, dan cahaya berdenyut, menunjukkan harapan yang cukup besar untuk mencapai inaktivasi mikroba sambil mempertahankan integritas fisikokimia dan nutrisi produk pangan (Paucar-Menacho et al., 2024). Teknologi baru ini, bersama dengan proses membran, semakin diminati karena kemampuannya memproduksi pangan olahan minimal dengan atribut kualitas yang ditingkatkan dibandingkan dengan metode termal konvensional, sambil juga menawarkan potensi pengurangan limbah yang signifikan dalam pengolahan air limbah industri (Picart-Palmade et al., 2019).

Penerapan pemrosesan non-thermal mewakili pergeseran penting menuju praktik ramah lingkungan yang berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan jejak air, selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan

global (Paucar-Menacho et al., 2024). Integrasi teknologi non-termal seperti pemisahan membran, pemrosesan tekanan tinggi, dan CO₂ fase padat ke dalam rantai pengolahan pangan mewakili kemajuan signifikan menuju peningkatan keberlanjutan, terutama karena konsumsi energi dan airnya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional (Ağagündüz et al., 2025; Picart-Palmade et al., 2019).

12.2.3 Dampak Lingkungan dan Keberlanjutan

Teknologi pengolahan pangan hijau ini ditandai dengan waktu pemrosesan yang lebih singkat, konsumsi pelarut dan energi yang lebih rendah, serta jejak karbon dioksida yang diperkecil, sehingga mempromosikan sistem pangan yang lebih bergizi, ramah lingkungan, dan menguntungkan (Ghnimi et al., 2021; Nawaz et al., 2025). Tujuan utama dari kemajuan teknologi ini adalah untuk memfasilitasi penciptaan produk pangan berkelanjutan dan berkualitas tinggi yang memenuhi permintaan konsumen yang terus berkembang dan peraturan lingkungan yang ketat (Nawaz et al., 2025).

Inovasi seperti tekanan hidrostatik tinggi, medan listrik berdenyut, dan pemrosesan berbantuan ultrasonikasi memanfaatkan kekuatan fisik untuk menonaktifkan patogen dan meningkatkan kualitas pangan tanpa degradasi termal yang ekstensif (Nawaz et al., 2025). Metode ini lebih jauh dibedakan oleh kemampuannya untuk mempertahankan profil organoleptik dan nutrisi makanan, menjawab preferensi konsumen kontemporer untuk pilihan pangan olahan minimal dan lebih sehat (Assan, 2023; Jadhav & Choudhary, 2024).

12.3 Mekanisme Aksi Teknologi Non-Termal

Pemahaman tentang mekanisme aksi teknologi non-termal sangat penting untuk optimalisasi parameter pemrosesan dan pencapaian hasil yang diinginkan dalam hal keamanan pangan dan retensi nutrisi.

12.3.1 Prinsip Dasar Inaktivasi Mikroba

Mekanisme aksi untuk teknologi non-termal, seperti plasma dingin, cahaya berdenyut, pemrosesan tekanan tinggi, medan listrik berdenyut, dan radiasi ultraviolet, melibatkan berbagai perubahan fisik dan kimia pada sel mikroba, secara efektif menonaktifkannya sambil mempertahankan atribut nutrisi dan sensorik yang penting (Ağagündüz et al., 2025; Lisboa et al., 2024).

Pemrosesan medan listrik berdenyut mencapai inaktivasi mikroba melalui elektroporasi, yaitu pembentukan pori-pori permanen pada membran sel yang menyebabkan kebocoran isi sel dan kematian sel (Ağagündüz et al., 2025). Ultrasonikasi memanfaatkan kavitasitas akustik pembentukan dan pecahnya gelembung mikro yang menghasilkan gelombang kejut dan radikal bebas yang mengganggu membran sel dan komponen intraseluler (Ağagündüz et al., 2025).

Pemrosesan tekanan hidrostatik tinggi memberikan tekanan seragam (100-800 MPa) untuk menginduksi perubahan konformasi dalam makromolekul seperti protein dan enzim, serta mengganggu struktur seluler tanpa merusak ikatan kovalen yang bertanggung jawab atas flavor dan nutrisi (Ağagündüz et al., 2025; Mahendran et al., 2023).

12.3.2 Teknologi Spesifik dan Aplikasinya

Perlakuan cahaya ultraviolet (UV-C) menggunakan radiasi pada panjang gelombang 254 nm untuk merusak DNA mikroba dengan membentuk dimer timin, yang menghambat replikasi dan menyebabkan kematian sel.

Teknologi ini menawarkan keuntungan seperti waktu perlakuan yang singkat dan efektivitas patogen spektrum luas pada permukaan pangan (Pokharel, 2023).

Tabel 12.2: Aplikasi Teknologi Non-Termal pada Berbagai Matriks Pangan

Matriks Pangan	Teknologi yang Sesuai	Efek terhadap Mutu	Tantangan Aplikasi
Buah dan Sayuran	Plasma dingin, UV, HPP	Retensi warna, vitamin	Penetrasi terbatas
Jus Buah	PEF, Ultrasonikasi	Peningkatan ekstraksi	Biaya peralatan
Daging dan Ikan	HPP, Iradiasi	Tekstur terjaga	Oksidasi lipid
Susu dan Produk Susu	PEF, Ultrasonikasi	Protein tidak terdenaturasi	Efektivitas spora
Sereal	Plasma dingin	Reduksi mikotoksin	Homogenitas perlakuan

Plasma dingin mengurangi beban mikroba dengan menghasilkan spesies oksigen dan nitrogen reaktif (ROS/RNS) seperti ozon, radikal hidroksil, dan nitrogen oksida yang merusak komponen seluler, membran, dan materi genetik mikroorganisme (Jadhav & Choudhary, 2024; Lisboa et al., 2024).

Proses non-thermal canggih ini semakin banyak diadopsi karena efisiensinya dalam mencapai pengendalian mikroba di berbagai matriks pangan, termasuk buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, dan daging, tanpa mengorbankan nilai gizi atau atribut sensorik yang melekat padanya (Akanni et al., 2024).

12.3.3 Retensi Nutrisi dan Kualitas Sensorik

Implementasi teknologi non-thermal sangat penting untuk mempertahankan komponen nutrisi yang sensitif terhadap panas dan mempertahankan kualitas segar produk pangan (Ağagündüz et al., 2025; Khalid et al., 2023). Metode inovatif ini menawarkan keuntungan signifikan dibandingkan pemrosesan termal tradisional dengan meminimalkan degradasi nutrisi dan memaksimalkan daya tarik konsumen

melalui retensi rasa dan tekstur alami (Al-Najjar et al., 2023; Jadhav et al., 2021; Masilamani et al., 2025).

Pemrosesan tekanan tinggi, misalnya, menunjukkan kemajuan tersebut dengan secara efektif menghilangkan patogen dan mikroorganisme pembusuk sambil mempertahankan integritas organoleptik dan nutrisi produk (Nabi et al., 2021). Proses ini melibatkan paparan makanan terhadap tekanan yang sangat tinggi (biasanya 100-800 MPa), yang mendenaturasi protein dan menonaktifkan enzim dan mikroorganisme tanpa secara signifikan menaikkan suhu produk (Mahendran et al., 2023; Roig-Sagués & Trujillo, 2023).

Homogenisasi tekanan ultra-tinggi dan radiasi ultraviolet sedang dieksplorasi untuk kemampuannya menonaktifkan patogen bawaan pangan dan memperpanjang masa simpan dengan degradasi minimal nutrisi sensitif dan senyawa bioaktif (Roig-Sagués & Trujillo, 2023). Metode ini sangat menguntungkan untuk mempertahankan karakteristik "segar" pada makanan, yang sering kali dikompromikan oleh pemrosesan termal konvensional (Farahnaky et al., 2022).

12.4 Teknologi Hurdle: Pendekatan Kombinasi dalam Pengolahan Pangan Sehat

Teknologi hurdle, atau teknologi kombinasi, merupakan pendekatan strategis yang menggabungkan beberapa metode pengawetan pada intensitas yang lebih rendah untuk mencapai efek sinergis dalam inaktivasi mikroba sambil mempertahankan kualitas pangan.

12.4.1 Konsep dan Prinsip Dasar Teknologi Hurdle

Integrasi teknologi hurdle menggabungkan beberapa metode non-termal atau perlakuan termal ringan dengan pendekatan non-termal, menawarkan

efek sinergis yang meningkatkan inaktivasi mikroba dan kemanjuran pengawetan sambil meminimalkan dampak buruk pada kualitas pangan (Jadhav & Choudhary, 2024; Morris et al., 2007). Pendekatan multi-target ini memanfaatkan manfaat metode individu untuk mencapai efek pengawetan yang kuat, sering kali memungkinkan kondisi pemrosesan yang lebih ringan secara keseluruhan (Socaci et al., 2019).

Pendekatan ini sangat bermanfaat untuk mengatasi keterbatasan proses dekontaminasi mikroba individu, karena menyediakan mekanisme yang beragam untuk inaktivasi bakteri, sehingga meningkatkan keamanan dan pengawetan pangan (Obileke et al., 2022). Sistem hurdle semacam itu biasanya melibatkan kombinasi teknik, seperti ultrasonikasi ditambah dengan cahaya berdenyut, untuk mencapai pengurangan mikroba yang signifikan sambil mempertahankan integritas sensorik dan nutrisi (Obileke et al., 2022).

Teknologi hurdle non-termal, seperti yang menggunakan tekanan hidrostatik tinggi, medan listrik berdenyut, dan ultrasonikasi intensitas tinggi, semakin dikenal karena kemampuannya memastikan keamanan mikroba dan memperpanjang masa simpan tanpa mengorbankan atribut nutrisi dan sensorik (E.A. & Eiss, 2012; Masilamani et al., 2025). Pendekatan ini memungkinkan penerapan intensitas yang lebih rendah dari masing-masing hurdle, yang dapat memitigasi potensi dampak negatif pada kualitas pangan sambil mencapai inaktivasi mikroba yang komprehensif (Jadhav & Choudhary, 2024).

12.4.2 Sinergisme dalam Kombinasi Teknologi

Kombinasi strategis cahaya berdenyut dan ultrasonikasi, atau salah satunya dengan metode tradisional, dapat menghasilkan tingkat inaktivasi unggul terhadap spesies mikroba yang beragam karena penargetan sinergis dari beberapa mekanisme seluler (Ferrario & Guerrero, 2017; Obileke et al., 2022). Strategi kombinatorial ini memanfaatkan mekanisme aksi yang berbeda dari setiap teknologi, seperti gangguan fototermal oleh cahaya

berdenyut dan stres mekanis dari ultrasonikasi, untuk mencapai spektrum inaktivasi yang lebih komprehensif (Ağagündüz et al., 2025).

Tabel 12.3: Contoh Kombinasi Teknologi Hurdle dan Efek Sinergisnya

Kombinasi Teknologi	Matriks Pangan	Efek Sinergis	Referensi
Panas ringan + PEF	Susu	Reduksi 5-log, retensi nutrisi	Abdullahi & Dandago, 2021
UV + Ultrasonikasi	Jus apel	Inaktivasi <i>S. cerevisiae</i>	Ferrario & Guerrero, 2017
Plasma dingin + Edible coating	Buah potong	Masa simpan panjang	Shill & Sit, 2025
HPP + Antimikroba alami	Daging	Stabilitas mikroba	Gómez et al., 2011

Efisiensi ultrasonikasi, misalnya, dapat ditingkatkan secara signifikan ketika diintegrasikan dengan pemrosesan termal atau faktor pengawetan fisik lainnya, sehingga mencapai efek pembunuhan yang lebih besar daripada sonikasi saja (Gómez et al., 2011). Peningkatan kemanjuran ini muncul dari peningkatan fluiditas membran pada suhu yang lebih tinggi, yang memperkuat efek disruptif dari kavitasi, meskipun panas berlebih dapat mengurangi manfaat ultrasonikasi ("Hurdle Technology in Fruit Processing," 2016).

12.4.3 Aplikasi Teknologi Hurdle pada Buah dan Sayuran

Pendekatan hurdle sangat aplikatif pada pemrosesan buah potong segar, menggabungkan teknologi seperti sinar UV, cahaya berdenyut, ultrasonikasi, dan tekanan hidrostatik tinggi (Gómez et al., 2011; Moreira et al., 2016). Penerapan teknologi gabungan ini, terutama metode non-termal, memungkinkan produksi buah olahan minimal dengan keamanan mikrobiologis yang ditingkatkan dan masa simpan yang diperpanjang (Gómez et al., 2011; "Hurdle Technology in Fruit Processing," 2016).

Sinar ultraviolet gelombang pendek, yang merusak DNA mikroba dan enzim, dapat diintegrasikan ke dalam sistem hurdle untuk mencapai

pengurangan patogen yang signifikan sambil mempertahankan kualitas jus buah dan buah potong segar (Gómez et al., 2011; "Hurdle Technology in Fruit Processing," 2016). Metode ini telah menunjukkan dampak minimal pada warna, kandungan vitamin C, dan rasa dalam jus buah, serta pengurangan penggelapan jaringan dan mempertahankan kualitas visual buah potong pada dosis yang lebih rendah ("Hurdle Technology in Fruit Processing," 2016).

Cahaya berdenyut menawarkan dekontaminasi permukaan yang cepat pada buah utuh dan potong dengan memanfaatkan kilatan cahaya spektrum luas yang intens untuk menginduksi kerusakan DNA dan penghancuran komponen seluler melalui efek fototermal (Gómez et al., 2011). Kemanjuran cahaya berdenyut tergantung pada faktor-faktor seperti karakteristik cahaya, homogenitas medan radiasi, dan transparansi serta warna matriks pangan, sehingga memerlukan optimalisasi parameter yang cermat ("Hurdle Technology in Fruit Processing," 2016).

12.5 Teknologi Plasma Dingin: Inovasi Terkini Pengolahan Pangan Sehat

Plasma dingin, atau cold plasma, merupakan teknologi non-termal yang menjanjikan dengan aplikasi luas dalam pengolahan pangan sehat. Teknologi ini menggunakan gas terionisasi yang menghasilkan spesies reaktif untuk inaktivasi mikroba dan modifikasi permukaan pangan.

12.5.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme Aksi Plasma Dingin

Plasma dingin menawarkan solusi yang kuat untuk dekontaminasi permukaan buah dengan menghasilkan spesies oksigen dan nitrogen reaktif yang secara efektif menurunkan struktur sel mikroba dan asam nukleat (Shill & Sit, 2025). Sifatnya yang non-termal mempertahankan kualitas buah, menjadikannya komponen yang menarik dalam teknologi hurdle

untuk meningkatkan keamanan pangan dan memperpanjang masa simpan (Shill & Sit, 2025; Waghmare, 2021).

Produksi spesies oksigen reaktif dan spesies nitrogen reaktif melalui plasma dingin menyediakan mekanisme oksidatif yang kuat terhadap mikroorganisme, yang kemudian terurai menjadi senyawa tidak berbahaya tanpa meninggalkan residu berbahaya (Shill & Sit, 2025). Spesies reaktif ini merusak membran sel, protein, dan DNA mikroba, menyebabkan kebocoran isi sel dan kematian (Lisboa et al., 2024; Oner et al., 2023).

12.5.2 Aplikasi Plasma Dingin dalam Pengolahan Pangan

Plasma dingin, bila dikombinasikan dengan metode lain seperti medan listrik berdenyut, perlakuan ultrasonikasi, atau pelapis yang dapat dimakan, dapat menghasilkan keuntungan sinergis dengan meningkatkan inaktivasi mikroba, mempertahankan kualitas sensorik, dan mengurangi residu kimia (Shill & Sit, 2025). Teknologi ini menyediakan alternatif yang layak untuk perlakuan termal dan kimia konvensional, menawarkan inaktivasi mikroba yang efektif sambil mempertahankan atribut sensorik dan nutrisi buah (Shill & Sit, 2025).

Tabel 12.4: Aplikasi Plasma Dingin pada Berbagai Produk Pangan

Produk Pangan	Parameter Plasma	Efek Mikrobiologi	Efek Mutu	Referensi
Buah segar	DBD, 5-15 menit	Reduksi 3-4 log	Retensi warna, kekerasan	Shill & Sit, 2025
Jus buah	Plasma jet	Reduksi patogen	Peningkatan polifenol	Waghmare, 2021
Daging	DBD, 10 menit	Reduksi E. coli	Oksidasi lipid minimal	Paulsen et al., 2022
Sereal	DBD, 5 menit	Reduksi jamur	Peningkatan germinasi	Jiang et al., 2022

Kemampuan plasma dingin untuk menonaktifkan pestisida dan enzim yang terkait dengan degradasi kualitas semakin menggarisbawahi potensinya dalam mempertahankan kesegaran dan memperpanjang daya jual produk

(Farooq et al., 2023). Plasma dingin dapat disesuaikan secara cermat untuk menghasilkan berbagai spesies reaktif dan parameter perlakuan, seperti komposisi gas dan laju aliran, sehingga memungkinkan intervensi yang sangat spesifik dan efektif terhadap mikroorganisme pembusuk (Shill & Sit, 2025).

12.5.3 Tantangan Implementasi dan Arah Pengembangan

Meningkatnya adopsi plasma dingin di berbagai industri terkait pangan dapat dikaitkan dengan suhu operasinya yang rendah, efisiensi tinggi, dan dampak lingkungan yang minimal, menawarkan sterilisasi, penonaktifan enzim, dan modifikasi fungsional produk (Nikzadfar et al., 2024). Namun, penelitian yang tidak memadai tentang dampak jangka panjang pada kualitas pangan, ditambah dengan biaya investasi awal yang tinggi dan ketidakpastian dalam parameter proses, saat ini membatasi adopsi luasnya di lingkungan komersial (Sezer et al., 2025).

Tabel 12.5: Tantangan Implementasi Teknologi Plasma Dingin

Kategori Tantangan	Deskripsi	Dampak	Solusi Potensial
Teknis	Distribusi plasma tidak merata	Inaktivasi tidak seragam	Desain reaktor baru
Ekonomi	Biaya investasi tinggi	ROI lambat	Sistem modular, skala bertahap
Regulasi	Kerangka hukum belum jelas	Hambatan komersialisasi	Harmonisasi standar
Kualitas mutu	Potensi oksidasi lipid	Perubahan flavor	Optimasi parameter

Tantangan penskalaan sistem plasma dingin ke tingkat komersial, khususnya mengenai distribusi perlakuan yang seragam di berbagai permukaan buah yang beragam dan kontrol yang tepat atas parameter operasional, tetap menjadi hambatan signifikan untuk implementasi yang lebih luas (Shill & Sit, 2025). Distribusi perlakuan yang tidak merata, ketergantungan pada parameter operasi tertentu, potensi efek pada kualitas buah, dan kekhawatiran mengenai pembentukan produk sampingan dan faktor biaya menghadirkan hambatan substansial (Shill & Sit, 2025).

12.5.4 Aspek Keamanan dan Regulasi Plasma Dingin

Penilaian yang ketat diperlukan untuk mengkonfirmasi tidak berbahayanya spesies reaktif residual dalam produk pangan yang diolah dan untuk memastikan penerimaan konsumen mengingat potensi perubahan karakteristik sensorik (Nikzadfar et al., 2024). Potensi perlakuan plasma dingin untuk menginduksi pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan, yang dapat berdampak negatif pada kualitas bahan baku nabati yang diolah dan makanan olahan, memerlukan penyelidikan toksikologis lebih lanjut (Byapak et al., 2024).

Tidak adanya kerangka kerja peraturan yang mapan dan sistem jaminan kualitas yang jelas untuk makanan yang diolah plasma secara signifikan menghambat penerimaan pasar dan membatasi ekspansi industri (Shill & Sit, 2025). Pengembangan pedoman yang jelas dan protokol standar sangat penting untuk memfasilitasi masuk pasar dan memastikan kepercayaan publik (Shill & Sit, 2025).

12.6 Prospek Masa Depan Teknologi Pengolahan Pangan Sehat

Perkembangan teknologi pengolahan pangan sehat terus mengalami percepatan seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan pentingnya pangan bergizi dan aman, serta tuntutan keberlanjutan lingkungan.

12.6.1 Integrasi Teknologi untuk Keberlanjutan

Teknologi pangan hijau seperti medan listrik berdenyut, pemanasan ohmik, plasma dingin, pemrosesan gelombang mikro, dan pengemasan inovatif menawarkan peluang yang cukup besar untuk meningkatkan eliminasi bakteri dan keamanan produk sambil secara bersamaan menurunkan konsumsi energi dan memitigasi efek panas yang merugikan (Nawaz et al.,

2025). Kemampuan adaptasi sistem plasma dingin memungkinkan integrasinya ke dalam lini pemrosesan yang ada, memfasilitasi transisi yang mulus menuju praktik produksi pangan yang lebih berkelanjutan dan efisien (Jiang et al., 2022).

Pendekatan holistik yang memadukan berbagai teknologi non-termal dengan prinsip ekonomi sirkular tidak hanya memperpanjang masa simpan produk tetapi juga berkontribusi pada pengurangan limbah pangan melalui pemanfaatan produk sampingan (Mahendran et al., 2023). Teknologi non-termal efektif untuk mengekstrak senyawa bioaktif dari produk sampingan pengolahan pangan, sehingga menambah nilai dan mengurangi limbah dalam rantai pasokan pangan (Zhang et al., 2023).

12.6.2 Arah Penelitian Masa Depan

Penelitian masa depan perlu fokus pada penjelasan fisika plasma dan mekanisme aksi teknologi non-termal lainnya untuk mengoptimalkan kinerja dan memperluas aplikasi (Hernández-Torres et al., 2021). Optimalisasi parameter plasma untuk matriks pangan yang berbeda, pemahaman mekanisme inaktivasi mikroba pada tingkat molekuler, dan penilaian efek jangka panjang pada kualitas nutrisi dan atribut sensorik sangat penting untuk memajukan kegunaan teknologi ini (Zhang et al., 2023).

Tabel 12.6: Prioritas Penelitian Teknologi Non-Termal untuk Pangan Sehat

Bidang Penelitian	Tujuan	Metode	Output yang Diharapkan
Optimasi parameter	Efisiensi maksimal	Desain eksperimental	Protokol standar
Mekanisme molekuler	Pemahaman aksi	Omics, mikroskop	Model prediktif
Skala industri	Transfer teknologi	Pilot plant, engineering	Sistem komersial
Keamanan pangan	Toksikologi	Studi in vitro/in vivo	Batas aman
Penerimaan konsumen	Preferensi sensorik	Uji organoleptik	Produk diterima pasar

Kolaborasi interdisipliner di antara teknolog pangan, insinyur, ilmuwan material, dan pakar regulasi sangat diperlukan untuk mentransisikan teknologi plasma dingin dan teknologi non-termal lainnya dari metode laboratorium yang menjanjikan menjadi solusi pemrosesan pangan yang aman, terstandarisasi, dan layak secara komersial (Sezer et al., 2025).

12.6.3 Prospek Komersialisasi dan Adopsi Industri

Pengembangan sistem plasma yang hemat biaya dan skalabel sangat penting untuk integrasi ke dalam lini pemrosesan pangan yang ada (Shill & Sit, 2025). Evaluasi kelayakan ekonomi dari perlakuan plasma dingin skala besar perlu mempertimbangkan biaya operasional dan modal (Tolouie et al., 2017). Pengembangan metode dan alat komputasi canggih akan berperan penting dalam memprediksi generasi dan sintesis senyawa kimia dalam larutan cair yang diolah plasma, sehingga mengoptimalkan kemanjuran dan keamanan perlakuan (Chen et al., 2020).

Studi komprehensif diperlukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dan multigenerasi plasma pada produksi pangan primer, termasuk efek pada benih dan pertumbuhan tanaman selama penyimpanan, untuk memastikan praktik pertanian berkelanjutan (Jiang et al., 2022). Upaya bersama untuk menjembatani kesenjangan antara ilmu plasma fundamental dan aplikasi industri pangan praktis akan memfasilitasi transisi teknologi ini menjadi metodologi pemrosesan pangan yang andal dan ramah lingkungan (Denoya et al., 2024).

Bab 13

Fermentasi sebagai Strategi Peningkatan Nilai Gizi

13.1 Fermentasi dan Perannya dalam Pangan

Indonesia, salah satu negara yang dianugerahi kekayaan alam yang indah, beragam suku, budaya dan adat istiadat. Hal tersebut secara tidak langsung turut memberi pengaruh bagi ragam kuliner nusantara. Tempe, oncom, acar, tape, terasi, beberapa pangan lokal atau pangan tradisional yang dikenal luas dikalangan masyarakat dari sabang sampai merauke. Citarasanya yang khas, metode pengolahan yang sederhana, ekonomis, membuat produk olahan tersebut cukup digemari banyak orang. Metode yang umum digunakan masyarakat Indonesia dalam membuat makanan tradisional adalah metode fermentasi.

Fermentasi merupakan salah satu metode pengolahan tertua di dunia dan tetap berkembang hingga saat ini. Fermentasi adalah proses perubahan

biokimia pada bahan pangan dengan melibatkan aktivitas mikroorganisme dan metabolit aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut (Setiarto, 2020). Fermentasi dapat juga diartikan sebagai proses metabolisme komponen bahan pangan (karbohidrat, protein atau lemak) dalam kondisi anaerobik dan menghasilkan asam organik, alkohol, gas dan senyawa organik yang berperan dalam perubahan sifat pangan (Kumari et al., 2025).

Bakteri asam laktat (*Lactobacillus*, *Levilactobacillus*), ragi (*Saccharomyces* spp.), dan kapang (*Rhizopus* spp.) merupakan mikroorganisme yang umum berperan dalam fermentasi (Lewerissa et al., 2023; Sawant et al., 2025; Sharma et al., 2020). Aktivitas mikroba tersebut memengaruhi rasa, tekstur, aroma, dan stabilitas produk pangan yang dihasilkan (Sawant et al., 2025; Gangakhedkar et al., 2025). Proses fermentasi mampu membuat komponen bahan pangan menjadi lebih stabil, aman dan bernilai tambah. Perubahan biokimia yang terjadi selama fermentasi berdampak secara signifikan terhadap nilai gizi produk (Mulyani et al., 2022).

Fermentasi berperan dalam meningkatkan nilai gizi melalui peningkatan bioavailabilitas mineral, sintesis vitamin tertentu, serta degradasi faktor antinutrisi seperti asam fitat. Mikroba fermentatif mampu memecah struktur kompleks bahan mentah menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mudah dicerna oleh tubuh, serta sering kali meningkatkan bioavailabilitas nutrisi penting seperti asam amino, vitamin, dan mineral (Sawant et al., 2025).

Misalnya dalam fermentasi kedelai menjadi tempe, kapang *Rhizopus oligosporus* mendegradasi protein kompleks menjadi peptida dan asam amino bebas yang lebih mudah diasimilasi, serta mengurangi faktor antinutrisi seperti fitat yang biasanya menghambat penyerapan mineral esensial (Gangakhedkar et al., 2025; Kumari et al., 2025). Dampak ini membuat makanan fermentasi sering kali lebih bernutrisi dibandingkan bahan mentahnya dan berpotensi membantu memenuhi kebutuhan gizi komplementer dalam pola pangan masyarakat.

Fermentasi juga berperan besar dalam pengawetan pangan. Selama fermentasi asam laktat, misalnya, produksi asam laktat oleh bakteri menurunkan pH media fermentasi sehingga menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan bagi pertumbuhan mikroba patogen dan pembusuk. Karakter asam ini sekaligus memperpanjang umur simpan produk seperti tape, sauerkraut, kimchi, yoghurt, dan asinan sayuran, tanpa memerlukan bahan pengawet sintetis (Gangakhedkar et al., 2025; Kumari et al., 2025; Mulyani et al., 2022).

Dalam konteks keamanan pangan, kemampuan fermentasi untuk menekan pertumbuhan bakteri berbahaya serta memodifikasi komponen toksik menjadi bentuk yang lebih aman seperti pengurangan indikator toksin alami pada beberapa bahan mentah menjadikannya teknik pengolahan pangan yang sangat berharga (Kumari et al., 2025).

Fermentasi juga memengaruhi sifat sensori pangan. Metabolit yang dihasilkan oleh mikroba fermentatif seperti asam organik, alkohol, ester, dan peptida berkontribusi pada kompleksitas rasa, aroma, dan tekstur produk akhir. Misalnya, bakteri asam laktat dalam produk susu fermentasi seperti dadih, yogurt, kefir menghasilkan asam laktat dan senyawa lemak volatil yang memberikan tangy flavor, sedangkan ragi dalam pembuatan roti menghasilkan karbon dioksida yang menciptakan pori-pori dan struktur ringan pada adonan (Sawant et al., 2025).

Pekasam, makanan fermentasi khas banjar berbahan dasar ikan menghasilkan asam laktat, sehingga memiliki cita rasa asam dan asin (Lestari et al., 2022). Perubahan sensori ini tidak hanya meningkatkan daya tarik konsumsi tetapi sering kali menjadi ciri khas pangan setempat. Aneka produk fermentasi dapat dilihat pada Gambar 13.1.

Fermentasi dalam pangan berperan untuk meningkatkan nilai nutrisi, meningkatkan nilai sensori/organoleptiknya dan sebagai metode pengawetan untuk memperpanjang umur simpan suatu produk pangan. Dalam proses fermentasi, keamanan merupakan faktor yang tidak boleh diabaikan.



Gambar 13.1: Aneka Produk Fermentasi di Indonesia

Walaupun fermentasi umumnya meningkatkan keamanan pangan melalui aktivitas mikroba yang menghambat patogen, kondisi fermentasi yang tidak terkontrol atau penggunaan bahan baku yang tercemar dapat menyebabkan risiko berkembangnya mikroba atau metabolit yang tidak diinginkan (Kumari et al., 2025). Oleh karena itu, pengembangan praktik fermentasi yang baik, termasuk pemilihan kultur starter yang tepat, sanitasi proses, dan monitoring pH serta kondisi lingkungan fermentasi adalah aspek kritis untuk menjamin kualitas dan keamanan produk fermentasi.

13.2 Fermentasi dan Peningkatan Nilai Gizi

Fermentasi merupakan salah satu teknologi biotik kuno yang telah digunakan manusia sejak ribuan tahun lalu untuk mengolah bahan pangan menjadi produk yang lebih tahan lama, aman dikonsumsi, dan memiliki profil nutrisi yang berbeda dibandingkan bahan aslinya. Proses fermentasi tidak hanya menghasilkan perubahan fisik dan sensorik seperti rasa, aroma, dan tekstur, tetapi juga berdampak secara signifikan terhadap nilai gizi makanan atau produk hasil fermentasi. Membuat makanan fermentasi tidak hanya aman, tetapi juga memiliki manfaat fungsional bagi kesehatan manusia (Kumari et al., 2025).

Peningkatan nilai gizi selama fermentasi ditunjukkan dengan:

1. Peningkatan bioavailabilitas nutrisi.

Bioavailabilitas adalah proporsi nutrisi yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh setelah di konsumsi (Kumari et al., 2025). Fermentasi dapat meningkatkan ketersediaan mineral sehingga dapat diserap oleh tubuh. Proses fermentasi dapat memecah antinutrisi seperti fitat, oksalat, dan kompleks polifenol, yang biasanya mengikat mineral dan menghambat penyerapan. Asam organik, seperti asam laktat dan asam asetat yang dihasilkan selama metabolisme mikroba, lebih lanjut meningkatkan kelarutan dan penyerapan mineral esensial seperti besi, seng, kalsium, dan magnesium (Sawant et al., 2025). Hal ini menjadikan sereal, kacang-kacangan, dan sayuran yang difermentasi sebagai sumber diet penting dengan mikronutrien mudah diserap oleh tubuh.

2. Penurunan zat anti nutrisi

Senyawa anti-gizi seperti fitat dan tanin dalam biji-bijian dan sayuran mentah cenderung mengikat mineral seperti zat besi, seng, dan kalsium sehingga mengurangi bioavailabilitasnya. Proses fermentasi dapat memecah atau menurunkan tingkat senyawa anti-gizi ini, sehingga mineral menjadi lebih mudah diserap oleh sistem pencernaan. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa makanan fermentasi seringkali menunjukkan nilai gizi yang lebih baik daripada bahan aslinya. Fermentasi sayuran atau kacang-kacangan terbukti menurunkan fitat serta senyawa penghambat nutrisi lain sehingga meningkatkan ketersediaan vitamin dan mineral dalam produk akhir (Knez & Kadac-czapska, 2023). Proses fermentasi menyebabkan mikroba yang tumbuh akan menghasilkan enzim fitase dalam jumlah besar sehingga menghidrolisis asam fitat menjadi monophosphate anorganik,

- myo-inositol phosphatase rendah dan myo-inositol (Muchtadi, 1998) dalam (Widyastuti et al., 2015).
3. Pembentukan senyawa bioaktif
- Fermentasi mendorong pembentukan senyawa bioaktif, termasuk peptida, Short Chain Fatty Acid (SCFAs) atau asam lemak rantai pendek, vitamin B, eksopolisakarida, dan metabolit antioksidan. Senyawa-senyawa ini memberikan berbagai manfaat kesehatan, seperti regulasi mikrobiota usus, peningkatan respons imun, aktivitas antiinflamasi, dan perlindungan terhadap stres oksidatif (Verni et al., 2019). Misalnya, fermentasi asam laktat pada susu meningkatkan kandungan peptida bioaktif, yang telah dikaitkan dengan efek anti hipertensi dan imunomodulator.
4. Probiotik dan senyawa fungsional
- Beberapa makanan fermentasi mampu memberikan efek probiotik karena mengandung mikroorganisme hidup. Mikroorganisme tersebut dapat memodulasi komposisi mikrobiota usus, meningkatkan integritas penghalang usus, dan mendukung fungsi sistem imun. Dengan mengonsumsi makanan fermentasi secara rutin, diharapkan dapat meningkatkan kesehatan gastrointestinal, penurunan risiko infeksi, dan sebagai upaya mengurangi risiko gangguan metabolik dan inflamasi

Pengaruh fermentasi terhadap nutrisi dan sifat fungsional beberapa produk pangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13.1: Karakteristik fungsional dan nutrisi beberapa produk pangan fermentasi (Sumber: Kumari et al., 2025; Kurniati, 2020; Widyastuti et al., 2015)

Jenis Produk	Mikroorganisme yang berperan	Kontribusi nutrisi yang utama	Dampak fungsional/kesehatan
Tempe,	<i>Rhizopus</i> spp.	Protease dan	Protein hydrolysis,

beras fermentasi		lipase	menghasilkan citarasa umami pada tempe
Yogurt, kefir, kimchi	<i>Lactobacillus</i> spp	Vitamin B-kompleks, peptida bioaktif	Aktivitas probiotik, peningkatan kemudahan pencernaan, modulasi sistem kekebalan tubuh
Susu fermentasi, minuman probiotik	<i>Bifidobacterium</i> spp.	Short-chain fatty acids (SCFAs)	Memodulasi saluran pencernaan, anti inflamasi
Roti, bir dan wine	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Vitamin B dan Asam amino	Meningkatkan aroma, membantu pencernaan
Keacap kedelai, miso, tempe	<i>Aspergillus</i> spp.	Enzim (protease dan amilase)	Memecah makromolekul dan meningkatkan ketersediaan nutrisi
Keju biru.	<i>Penicillium</i> spp.	Enzim lipase dan protease	Menghasilkan aroma dan tekstur yang khas dari keju biru
Tepung jagung	Bakteri asam laktat	Enzim proteolitik	Memecah protein menjadi pepton, polipeptida, asam amino,
Brem salak	kapang dan khamir	Enzim amilase	Memecah karbohidrat menjadi gula dan alkohol; Menghasilkan senyawa ester dengan cita rasa khas

13.3 Prospek Fermentasi pada Pangan Lokal

Saat ini, kebutuhan akan pangan bergizi dengan manfaat kesehatan semakin meningkat. Masyarakat tidak hanya menginginkan makanan dengan kandungan gizi lengkap dan cita rasa menarik, namun juga memiliki manfaat fisiologis tertentu bagi tubuh. Makanan fungsional yang mengandung komponen aktif biologis dengan efek fisiologis positif, muncul

sebagai solusi strategis (Khoerunisa et al., 2020). Minat terhadap pangan fermentasi kembali meningkat seiring dengan berkembangnya penelitian mengenai manfaat kesehatan, keberlanjutan sistem pangan, dan potensi ekonomi dari produk pangan tradisional.

Secara global, fermentasi memainkan peran penting dalam sistem pangan tradisional di berbagai negara. Banyak produk pangan khas dunia dihasilkan melalui proses fermentasi, seperti kimchi di Korea, miso dan natto di Jepang, sauerkraut di Jerman, yogurt dan kefir di kawasan Eropa Timur, serta berbagai jenis roti fermentasi seperti sourdough. Produk-produk tersebut tidak hanya menjadi bagian dari identitas budaya kuliner suatu bangsa, tetapi juga memiliki nilai fungsional yang tinggi bagi kesehatan manusia.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa fermentasi mampu meningkatkan bioavailabilitas nutrisi, menghasilkan senyawa bioaktif seperti asam organik, peptida bioaktif, dan vitamin, serta memperkaya komposisi mikrobiota yang bermanfaat bagi kesehatan usus manusia (Jusman et al., 2025; Muttaqin et al., 2025; Setiarto, 2020). Oleh karena itu, pangan fermentasi semakin dipandang sebagai komponen penting dalam pengembangan pangan fungsional di masa depan.

Perkembangan ilmu mikrobiologi dan bioteknologi modern juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme fermentasi. Kemajuan dalam teknik analisis genomik dan metagenomik memungkinkan identifikasi mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi secara lebih detail. Hal ini membuka peluang untuk mengembangkan kultur starter yang lebih spesifik sehingga proses fermentasi dapat dikontrol dengan lebih baik tanpa menghilangkan karakteristik tradisional produk.

Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa fermentasi dapat meningkatkan kualitas nutrisi bahan pangan dengan mengurangi senyawa antinutrisi, meningkatkan pencernaan protein, serta menghasilkan metabolit yang berperan sebagai antioksidan dan probiotik (Kitessa, 2024).

Prospek fermentasi pada pangan lokal dunia juga berkaitan erat dengan isu keberlanjutan pangan. Dalam sistem pangan modern, tantangan seperti peningkatan populasi dunia, perubahan iklim, dan keterbatasan sumber daya menuntut inovasi dalam pengolahan pangan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Fermentasi dianggap sebagai teknologi yang relatif sederhana, hemat energi, serta dapat memanfaatkan bahan baku lokal yang sebelumnya kurang dimanfaatkan.

Misalnya, berbagai bahan pangan berbasis sereal, umbi-umbian, dan limbah pertanian dapat diolah melalui fermentasi menjadi produk dengan nilai tambah yang lebih tinggi. Dengan demikian, fermentasi tidak hanya meningkatkan kualitas pangan tetapi juga berkontribusi pada pengurangan limbah pangan dan peningkatan efisiensi sistem produksi pangan (Wicaksono, 2026).

Selain memberikan manfaat nutrisi, pangan fermentasi lokal Indonesia juga memiliki potensi sebagai sumber mikroorganisme probiotik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa bakteri asam laktat merupakan kelompok mikroorganisme yang paling dominan dalam banyak produk fermentasi tradisional Indonesia.

Bakteri tersebut memiliki kemampuan menghasilkan asam organik, senyawa antimikroba, serta metabolit yang dapat meningkatkan kesehatan saluran pencernaan. Beberapa genus bakteri yang sering ditemukan dalam pangan fermentasi Indonesia antara lain *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, dan *Leuconostoc*. Mikroorganisme tersebut berpotensi dikembangkan sebagai kultur starter atau probiotik dalam industri pangan fungsional di masa depan (Padang et al., 2024).

Prospek pengembangan fermentasi pangan lokal di Indonesia juga sangat terkait dengan potensi peningkatan nilai ekonomi produk. Banyak bahan pangan lokal seperti singkong, jagung, kedelai, dan ikan yang dapat diolah menjadi produk fermentasi dengan nilai tambah yang lebih tinggi. Sebagai contoh, tempe yang awalnya merupakan pangan tradisional kini telah dikenal secara global sebagai sumber protein nabati yang berkualitas tinggi.

Produk ini bahkan menjadi salah satu alternatif pangan berbasis nabati yang semakin diminati oleh konsumen internasional yang mencari sumber protein yang lebih sehat dan berkelanjutan. Dengan dukungan inovasi teknologi pengolahan dan pengemasan, produk fermentasi tradisional Indonesia memiliki peluang besar untuk memasuki pasar global.

Selain itu, fermentasi juga dapat menjadi strategi penting dalam meningkatkan ketahanan pangan nasional. Banyak bahan pangan lokal yang memiliki potensi besar tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Melalui fermentasi, bahan-bahan tersebut dapat diolah menjadi produk yang lebih tahan lama dan memiliki nilai gizi yang lebih baik. Teknologi fermentasi juga dapat diterapkan pada skala rumah tangga maupun industri kecil sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat serta memperkuat ekonomi lokal. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, fermentasi pangan lokal dapat menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk memanfaatkan sumber daya lokal secara optimal sekaligus menjaga keberagaman budaya pangan,

Perkembangan teknologi pangan modern juga membuka peluang untuk mengintegrasikan pengetahuan tradisional dengan pendekatan ilmiah. Penggunaan kultur starter terstandarisasi, optimasi kondisi fermentasi, serta pemanfaatan teknologi analisis mikrobiologi dapat meningkatkan kualitas dan keamanan produk fermentasi. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk fermentasi tradisional yang memiliki kualitas konsisten dan dapat diproduksi dalam skala industri tanpa menghilangkan karakteristik khasnya. Dengan demikian, fermentasi pangan lokal tidak hanya menjadi warisan budaya, tetapi juga dapat berkembang menjadi sektor industri pangan yang inovatif dan kompetitif.

Fermentasi adalah bioteknologi tertua yang melibatkan proses metabolik yang berlangsung tanpa keterlibatan oksigen (Kitessa, 2024). Bioteknologi pangan yang memanfaatkan mikroorganisme hasil rekayasa genetik (MRG) juga telah berkembang sebagai inovasi penting untuk meningkatkan efisiensi proses fermentasi, memperkaya nilai gizi, memperbaiki mutu pangan fungsional, serta menghasilkan sumber protein alternatif bagi

kebutuhan pangan. Contoh penerapan MRG dalam bioteknologi pangan adalah produksi enzim dan bahan tambahan pangan.

Mikroorganisme direkayasa secara genetik sehingga memiliki kemampuan untuk memproduksi berbagai enzim dengan tingkat aktivitas dan efisiensi yang lebih tinggi. Enzim-enzim tersebut, seperti amilase, protease, dan lipase, memiliki peranan penting dalam berbagai proses pengolahan pada industri makanan dan minuman, karena dapat mempercepat reaksi biokimia yang dibutuhkan selama proses produksi serta meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan (Rustan et al., 2025).

Dibalik keunggulan dan kelebihan-nya, penerapan MRG masih mendapat tantangan yang besar. Tantangan tersebut yaitu pada aspek keamanan dan regulasi serta penerimaan Masyarakat. Isu keamanan pangan mendapat perhatian besar karena dapat menimbulkan konsekuensi negatif terhadap kesehatan masyarakat maupun lingkungan. Oleh karenanya, badan pengawas pangan menetapkan regulasi ketat untuk mengontrol produksi dan distribusi MRG sehingga aman dikonsumsi.

Pandangan negatif terhadap penerapan rekayasa genetika pada pangan sering muncul akibat keterbatasan pemahaman masyarakat serta beredarnya informasi yang tidak tepat. Oleh karena itu, komunikasi ilmiah yang transparan dan berbasis bukti menjadi kunci dalam meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap produk pangan berbasis MRG (Rustan et al., 2025).

Bab 14

Pengeringan, Ekstraksi dan Inovasi Skala UMKM

14.1 Pendahuluan

Pengembangan pangan sehat berbasis sumber daya lokal memerlukan pendekatan teknologi yang tidak hanya tepat guna, tetapi juga adaptif terhadap karakteristik usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Di Indonesia, UMKM pangan memegang peran strategis dalam memperkuat ketahanan pangan nasional, menciptakan lapangan kerja, serta meningkatkan nilai tambah komoditas lokal. Namun, sebagian besar UMKM masih menghadapi keterbatasan dalam penguasaan teknologi pengolahan, pengendalian mutu, dan penjagaan stabilitas produk.

Dua teknologi yang berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas dan daya saing produk pangan sehat adalah pengeringan dan ekstraksi. Pengeringan berfungsi memperpanjang umur simpan serta menjaga kestabilan fisik dan kimia produk, sementara ekstraksi memungkinkan

pemanfaatan senyawa bioaktif secara lebih optimal. Integrasi kedua teknologi ini membuka peluang pengembangan produk pangan fungsional yang aman, kompetitif, dan memiliki nilai ekonomi tinggi.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2023) melalui Sensus Pertanian 2023, terdapat 29.341.003 unit UMKM yang bergerak di bidang pertanian dan usaha turunannya di Indonesia. Data tersebut menegaskan besarnya potensi sektor pertanian sebagai basis pengembangan inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal, sekaligus menunjukkan urgensi penerapan teknologi pengolahan yang efisien, terstandar, dan sesuai dengan skala usaha kecil.

14.2 Konsep Dasar Pengeringan

14.2.1 Definisi dan Tujuan

Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan pangan yang dilakukan dengan cara menurunkan kadar air bahan hingga mencapai tingkat yang aman untuk penyimpanan. Proses ini berlangsung melalui mekanisme perpindahan panas ke dalam bahan dan diikuti oleh perpindahan massa berupa keluarnya uap air dari permukaan bahan ke lingkungan sekitarnya. Penurunan kadar air tersebut bertujuan untuk mengendalikan aktivitas biologis dan kimia yang dapat menyebabkan kerusakan produk.

Dalam konteks industri pangan, pengeringan tidak semata-mata bertujuan menghilangkan air, tetapi juga menjaga stabilitas dan mutu produk selama distribusi dan penyimpanan. Dengan kadar air yang lebih rendah, pertumbuhan mikroorganisme dapat ditekan karena ketersediaan air bebas yang dibutuhkan untuk metabolisme menjadi terbatas. Selain itu, aktivitas enzim yang berpotensi memicu perubahan warna, rasa, maupun tekstur dapat dikendalikan.

Pengeringan juga berperan dalam memperlambat berbagai reaksi kimia yang merugikan, seperti reaksi oksidasi dan pencokelatan non-enzimatis, yang sering kali menurunkan kualitas sensori dan nilai gizi produk. Dari sisi ekonomi, pengurangan kadar air menyebabkan bobot dan volume produk menjadi lebih ringan, sehingga biaya pengemasan dan distribusi dapat ditekan. Pada produk tertentu, proses pengeringan yang tepat bahkan dapat membantu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif sehingga nilai fungsionalnya tetap terjaga.

Selain berfungsi sebagai metode pengawetan dan perpanjangan umur simpan, proses pengeringan juga dilakukan untuk memenuhi berbagai tujuan lain. Pengeringan dapat diarahkan untuk menghasilkan bentuk fisik tertentu, seperti bubuk, serpihan, atau granula. Di samping itu, proses ini dapat digunakan untuk memperoleh karakteristik sensori yang diharapkan, termasuk warna, cita rasa, dan tekstur. Pengeringan juga berperan dalam menurunkan volume maupun bobot produk sehingga lebih efisien dalam distribusi dan transportasi. Lebih lanjut, teknik ini memungkinkan pengembangan produk-produk baru yang sebelumnya sulit atau bahkan tidak dapat diproduksi dalam bentuk segarnya (Mujumdar, 1997).

14.2.2 Prinsip Perpindahan Panas dan Massa

Proses pengeringan pada dasarnya melibatkan dua mekanisme utama yang berlangsung secara simultan, yaitu perpindahan panas dan perpindahan massa. Keduanya saling berkaitan dan menentukan laju serta efisiensi proses pengeringan. Perpindahan panas terjadi ketika energi termal dari sumber panas baik berupa udara panas, permukaan pemanas, maupun radiasi ditransfer ke bahan.

Energi ini dibutuhkan untuk meningkatkan suhu bahan hingga mencapai titik di mana air di dalamnya dapat menguap. Mekanisme perpindahan panas dapat berlangsung melalui konduksi (kontak langsung dengan permukaan panas), konveksi (aliran udara panas), atau radiasi (pemancaran energi panas tanpa media perantara). Pada skala UMKM, mekanisme

konveksi menggunakan aliran udara panas merupakan metode yang paling umum digunakan karena relatif sederhana dan ekonomis.

Tabel 14.1: Perbedaan perpindahan panas dan perpindahan massa dalam pengeringan

Aspek	Perpindahan Panas	Perpindahan Massa
Definisi	Perpindahan energi panas dari sumber panas ke bahan	Perpindahan air (cair/uap) dari dalam bahan ke lingkungan
Tujuan	Menaikkan suhu bahan dan menyediakan energi untuk evaporasi	Mengeluarkan air dari bahan hingga kadar air turun
<i>Driving force</i>	Gradien suhu (ΔT)	Gradien kelembaban (ΔY atau ΔP_v)
Hukum dasar	Hukum Fourier (konduksi) Hukum Newton (konveksi) Hukum Stefan-Boltzman (radiasi)	Hukum Fick (difusi massa)
Mekanisme utama	Konduksi, konveksi, radiasi	Difusi cair, difusi uap, kapilaritas
Tempat terjadinya	Dari media pemanas ke permukaan dan ke dalam bahan	Dari bagian dalam bahan ke permukaan, lalu ke udara
Parameter yang memengaruhi	Suhu udara, kecepatan aliran udara, koefisien perpindahan panas	Kelembaban relatif udara, porositas bahan, ketebalan bahan
Hasil akhir	Energi tersedia untuk penguapan	Uap air keluar ke lingkungan

Sementara itu, perpindahan massa berkaitan dengan keluarnya uap air dari bagian dalam bahan menuju permukaan, kemudian dilepaskan ke lingkungan pengering. Proses ini dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi uap air antara bahan dan udara sekitarnya. Selama kadar air dalam bahan masih tinggi, penguapan berlangsung relatif cepat dan laju pengeringan cenderung konstan. Namun, ketika kandungan air mulai berkurang, air yang tersisa lebih banyak terikat dalam matriks bahan sehingga laju pengeringan menurun secara bertahap.

Karakteristik bahan sangat menentukan pola perpindahan panas dan massa. Struktur jaringan, ukuran partikel, porositas, serta kadar air awal akan memengaruhi kemudahan air bermigrasi ke permukaan. Selain itu, faktor eksternal seperti suhu udara pengering, kelembapan relatif, kecepatan aliran udara, dan luas permukaan bahan juga berperan penting dalam menentukan efisiensi proses.

Pemahaman terhadap prinsip perpindahan panas dan massa menjadi dasar dalam merancang sistem pengeringan yang efektif dan efisien. Pada skala UMKM, pengaturan suhu dan aliran udara yang tepat tidak hanya mempercepat proses, tetapi juga membantu menjaga mutu sensori dan kandungan gizi produk, sehingga dihasilkan produk kering yang stabil dan bernilai tambah.

14.2.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Laju Pengeringan

Laju pengeringan menunjukkan seberapa cepat kadar air dalam bahan berkurang selama proses berlangsung. Parameter ini sangat penting karena berkaitan langsung dengan efisiensi energi, mutu produk akhir, serta biaya produksi. Secara umum, faktor yang memengaruhi laju pengeringan dapat dikelompokkan menjadi faktor internal (berasal dari karakteristik bahan) dan faktor eksternal (berasal dari kondisi proses).

1. Suhu Pengeringan

Suhu merupakan faktor yang paling dominan dalam menentukan kecepatan penguapan air. Semakin tinggi suhu udara pengering, semakin besar energi panas yang tersedia untuk menguapkan air sehingga laju pengeringan meningkat. Namun demikian, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan struktur, perubahan warna, penurunan kandungan gizi, atau degradasi senyawa bioaktif. Oleh karena itu, penentuan suhu harus mempertimbangkan sifat termal bahan dan tujuan akhir produk.

2. Kelembapan Relatif Udara

Kelembapan relatif memengaruhi kemampuan udara dalam menyerap uap air dari bahan. Udara dengan kelembapan rendah memiliki kapasitas lebih besar untuk menerima uap air, sehingga proses pengeringan berlangsung lebih cepat. Sebaliknya, jika udara sudah jenuh uap air, gradien konsentrasi menjadi kecil dan laju pengeringan menurun.

3. Kecepatan Aliran Udara

Aliran udara berperan dalam membawa uap air menjauhi permukaan bahan. Kecepatan aliran yang memadai membantu menjaga perbedaan konsentrasi uap air antara permukaan bahan dan lingkungan, sehingga proses evaporasi tetap berlangsung efektif. Namun, aliran yang terlalu kuat dapat menyebabkan penyusutan berlebihan atau ketidakteraturan pengeringan pada permukaan.

4. Luas Permukaan dan Ukuran Bahan

Bahan yang dipotong lebih kecil atau diiris tipis memiliki luas permukaan yang lebih besar relatif terhadap volumenya, sehingga mempermudah pelepasan air. Ketebalan bahan sangat memengaruhi jarak migrasi air dari bagian dalam menuju permukaan. Semakin tebal bahan, semakin lambat proses difusi air yang terjadi.

5. Kadar Air Awal dan Sifat Fisik Bahan

Bahan dengan kadar air awal tinggi umumnya mengalami fase laju pengeringan konstan pada tahap awal karena air bebas masih melimpah di permukaan. Seiring waktu, air yang tersisa lebih banyak terikat dalam struktur matriks bahan sehingga laju pengeringan menurun. Struktur jaringan, porositas, komposisi

kimia, serta kandungan serat juga memengaruhi kemudahan air bergerak keluar dari bahan.

6. Tekanan dan Kondisi Lingkungan

Pada sistem tertentu, seperti pengeringan vakum, tekanan yang lebih rendah dapat mempercepat penguapan karena titik didih air menurun. Meskipun teknologi ini belum banyak diterapkan pada skala UMKM, prinsipnya tetap relevan untuk dipahami sebagai bagian dari pengembangan teknologi yang lebih lanjut.

Pemahaman terhadap berbagai faktor tersebut sangat penting dalam merancang proses pengeringan yang efisien dan sesuai dengan karakteristik bahan. Pada skala UMKM, pengaturan parameter sederhana seperti suhu, ketebalan irisan, dan sirkulasi udara yang baik sering kali sudah mampu meningkatkan kualitas produk secara signifikan tanpa memerlukan investasi teknologi yang kompleks.

14.2.4 Tahapan Laju Pengeringan

Selama proses pengeringan, penurunan kadar air tidak berlangsung secara seragam. Secara umum, kurva pengeringan menunjukkan dua tahapan utama, yaitu fase laju pengeringan konstan dan fase laju pengeringan menurun. Pemahaman terhadap kedua fase ini penting untuk menentukan strategi pengeringan yang efisien sekaligus menjaga mutu produk.

1. Fase Laju Pengeringan Konstan

Pada tahap awal pengeringan, permukaan bahan masih jenuh oleh air bebas. Selama kondisi ini berlangsung, penguapan terjadi terutama di permukaan dan laju pengeringan relatif konstan. Kecepatan proses pada fase ini lebih banyak ditentukan oleh kondisi eksternal, seperti suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan aliran udara.

Karena air yang diuapkan merupakan air bebas, energi panas yang diberikan langsung digunakan untuk proses evaporasi. Pada tahap ini, suhu permukaan bahan cenderung mendekati suhu bola basah udara pengering.

Fase laju konstan umumnya berlangsung singkat pada bahan pangan yang memiliki struktur padat atau kadar air tidak terlalu tinggi.

2. Fase Laju Pengeringan Menurun

Setelah air bebas di permukaan berkurang, air yang tersisa berada di dalam struktur bahan dan lebih terikat secara fisik maupun kimia. Pada kondisi ini, penguapan tidak lagi terjadi secara langsung di permukaan, melainkan didahului oleh proses migrasi air dari bagian dalam menuju permukaan melalui mekanisme difusi.

Pada fase ini, laju pengeringan menurun secara bertahap karena perpindahan massa menjadi faktor pembatas utama. Suhu bahan mulai meningkat mendekati suhu udara pengering karena sebagian energi panas tidak lagi sepenuhnya digunakan untuk evaporasi. Fase laju menurun biasanya berlangsung lebih lama dan sangat dipengaruhi oleh sifat internal bahan, seperti porositas, ketebalan, serta komposisi kimia.

Dalam praktik pengeringan skala UMKM, sebagian besar waktu proses justru berada pada fase laju menurun. Oleh karena itu, pengaturan ketebalan bahan, distribusi panas yang merata, serta sirkulasi udara yang baik menjadi kunci untuk mempercepat proses tanpa mengorbankan mutu produk. Dengan memahami tahapan laju pengeringan, pelaku usaha dapat menentukan kombinasi suhu dan waktu yang lebih tepat, sehingga diperoleh produk kering yang stabil, aman, dan memiliki karakteristik sensori yang tetap terjaga.

14.2.5 Metode Pengeringan yang Umum Digunakan Pada Skala UMKM

Pemilihan metode pengeringan pada skala usaha mikro, kecil, dan menengah umumnya mempertimbangkan aspek biaya investasi, kemudahan operasional, ketersediaan energi, serta kapasitas produksi. Meskipun prinsip ilmiahnya sama, implementasi teknologinya dapat bervariasi sesuai dengan kondisi dan sumber daya yang tersedia.

1. Pengeringan Alami (Penjemuran Matahari)

Metode ini merupakan teknik paling sederhana dan banyak digunakan, terutama pada komoditas pertanian seperti rempah, biji-bijian, dan hasil hortikultura. Proses dilakukan dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber panas. Keunggulan metode ini terletak pada biaya yang sangat rendah dan kemudahan penerapan. Namun, pengeringan alami memiliki keterbatasan, antara lain ketergantungan pada cuaca, waktu proses yang relatif lama, serta risiko kontaminasi debu dan mikroorganisme. Selain itu, kontrol suhu dan kelembapan sulit dilakukan sehingga mutu produk cenderung tidak seragam. Menurut Visavale (2012) metode ini optimal diterapkan di wilayah berintensitas radiasi matahari tinggi dan durasi penyinaran panjang (sunny belt). Di negara berkembang, pengeringan surya menjadi alternatif ekonomis untuk menekan kehilangan pascapanen akibat keterbatasan teknologi pengawetan, serta masih banyak digunakan pada skala rumah tangga hingga komersial kecil untuk pengeringan produk pertanian dan pangan.

2. Pengeringan dengan Aliran Udara Panas (Cabinet Dryer atau Oven Pengereng)

Metode ini menggunakan sumber panas buatan yang dikombinasikan dengan sirkulasi udara untuk mempercepat proses penguapan. Pengereng tipe kabinet banyak dipilih oleh UMKM karena konstruksinya relatif sederhana dan mudah dioperasikan. Keunggulan metode ini adalah suhu dapat diatur sesuai kebutuhan bahan, waktu pengeringan lebih singkat dibandingkan penjemuran, serta mutu produk lebih konsisten. Kendati demikian, penggunaan energi listrik atau bahan bakar

meningkatkan biaya operasional yang perlu diperhitungkan dalam skala usaha kecil.

3. Pengeringan Surya Termodifikasi (Solar Dryer)

Sebagai pengembangan dari penjemuran tradisional, pengering surya menggunakan ruang tertutup dengan penutup transparan untuk meningkatkan suhu di dalam ruang pengering sekaligus melindungi bahan dari kontaminasi. Sistem ini mampu meningkatkan efisiensi pengeringan tanpa ketergantungan penuh pada listrik. Bagi UMKM, teknologi ini menjadi alternatif yang cukup ekonomis karena investasi relatif terjangkau dan kualitas produk lebih terjaga dibandingkan metode terbuka.

4. Pengeringan Vakum dan Teknologi Lanjutan

Beberapa UMKM yang telah berkembang mulai mengadopsi teknologi seperti pengeringan vakum atau pengering beku (freeze drying), terutama untuk produk bernilai tinggi seperti ekstrak herbal atau pangan fungsional. Teknologi ini mampu mempertahankan warna, aroma, serta kandungan senyawa bioaktif dengan lebih baik. Namun, biaya investasi dan operasional yang tinggi masih menjadi tantangan utama, sehingga penerapannya umumnya terbatas pada usaha dengan kapasitas dan segmen pasar khusus.

14.2.6 Keterkaitan Pengeringan dengan Stabilitas Senyawa Bioaktif

Dalam pengembangan pangan sehat, pengeringan tidak hanya dipandang sebagai metode pengawetan, tetapi juga sebagai tahapan penting yang memengaruhi stabilitas senyawa bioaktif. Senyawa seperti polifenol, flavonoid, vitamin, pigmen alami, dan komponen antioksidan lainnya memiliki sensitivitas berbeda terhadap panas, oksigen, dan cahaya. Oleh

karena itu, kondisi pengeringan perlu dirancang secara cermat agar tidak menurunkan potensi fungsional bahan.

Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi termal pada senyawa yang bersifat labil, misalnya vitamin C atau beberapa jenis antioksidan fenolik. Selain itu, proses pengeringan yang berlangsung terlalu lama dapat meningkatkan peluang terjadinya oksidasi, terutama jika bahan terpapar udara dalam waktu panjang. Di sisi lain, pengeringan yang tidak optimal dan menyisakan kadar air tinggi justru dapat mempercepat reaksi kimia serta pertumbuhan mikroorganisme yang merusak komponen bioaktif.

Metode dan parameter pengeringan juga berpengaruh terhadap ketersediaan hayati (bioavailability) senyawa aktif. Pada beberapa kasus, pengeringan dengan suhu terkendali dapat membantu memecah struktur sel tanaman sehingga senyawa bioaktif lebih mudah diekstraksi pada tahap selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengeringan dan ekstraksi bukanlah proses yang berdiri sendiri, melainkan saling terkait dalam menentukan mutu akhir produk.

Perkembangan teknologi turut mendorong inovasi dalam pengeringan pangan, seperti penerapan mikroenkapsulasi dan nanoteknologi. Mikroenkapsulasi berperan dalam meningkatkan stabilitas nutrisi, mencegah interaksi antar komponen, serta mengurangi degradasi melalui perlindungan matriks pelapis. Sementara itu, nanoteknologi memiliki aplikasi luas dalam sistem pangan, mulai dari budidaya dan produksi hingga pengolahan, pengemasan, distribusi, peningkatan masa simpan, dan bioavailabilitas nutrisi (Adeyeye dkk., 2022).

Bagi UMKM yang mengembangkan produk herbal, minuman instan, atau pangan fungsional berbasis bahan lokal, pemilihan suhu moderat, waktu yang terkontrol, serta sirkulasi udara yang baik menjadi strategi penting untuk mempertahankan nilai fungsional bahan. Dengan pendekatan yang tepat, proses pengeringan tidak hanya menjaga stabilitas produk, tetapi juga dapat meningkatkan nilai tambah melalui optimalisasi kandungan senyawa bioaktif.

Dengan demikian, pemahaman tentang pengaruh pengeringan terhadap stabilitas komponen aktif menjadi landasan penting sebelum memasuki tahapan ekstraksi, yang akan dibahas pada bagian berikutnya.

14.3 Konsep Dasar Ekstraksi

14.3.1 Definisi dan Tujuan

Ekstraksi merupakan proses pemisahan senyawa tertentu dari suatu bahan menggunakan pelarut yang sesuai, berdasarkan perbedaan kelarutan dan sifat kimia komponennya. Dalam konteks pangan sehat berbasis sumber daya lokal, ekstraksi bertujuan untuk memperoleh komponen bioaktif yang memiliki manfaat fungsional, seperti antioksidan, antimikroba alami, pigmen, atau senyawa aromatik.

Menurut Lloyd & van Wyk (2011) ekstraksi didefinisikan sebagai proses pemindahan satu atau lebih komponen dari bahan biologis ke dalam fase fluida, yang kemudian diikuti dengan pemisahan fase tersebut serta pemulihan kembali komponen yang diekstrak. Bahan baku umumnya berasal dari tanaman, namun prinsip ekstraksi tetap berlaku untuk bahan yang berasal dari hewan maupun organisme perairan.

Berbeda dengan pengeringan yang berfokus pada pengurangan kadar air untuk stabilitas produk, ekstraksi lebih menitikberatkan pada pemekatan atau isolasi komponen yang bernilai. Proses ini memungkinkan bahan baku dengan kadar senyawa aktif relatif rendah dapat diolah menjadi produk dengan konsentrasi yang lebih tinggi dan lebih terstandar.

Tujuan utama ekstraksi dalam industri pangan meliputi:

1. Mengisolasi senyawa bioaktif untuk meningkatkan nilai fungsional produk.
2. Memperoleh ekstrak dengan karakteristik tertentu, seperti warna, aroma, atau rasa alami.

3. Meningkatkan konsistensi mutu melalui standarisasi kandungan komponen aktif.
4. Meningkatkan nilai ekonomi bahan lokal melalui diversifikasi produk.

Pada skala UMKM, ekstraksi sering dimanfaatkan dalam pengolahan rempah, daun herbal, buah-buahan, maupun limbah pertanian yang masih memiliki potensi senyawa aktif. Dengan pendekatan teknologi yang tepat, proses ini dapat menjadi strategi peningkatan nilai tambah tanpa harus bergantung pada bahan baku impor.

14.3.2 Prinsip Dasar Proses Ekstraksi

Secara umum, proses ekstraksi melibatkan kontak antara bahan dan pelarut sehingga senyawa target berpindah dari matriks bahan ke dalam fase pelarut. Perpindahan ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi antara bagian dalam bahan dan pelarut di sekitarnya.

Efektivitas ekstraksi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain jenis pelarut, suhu, waktu kontak, ukuran partikel bahan, serta rasio bahan terhadap pelarut. Prinsip “like dissolves like” menjadi dasar pemilihan pelarut, di mana senyawa polar cenderung larut dalam pelarut polar (misalnya air atau etanol), sedangkan senyawa non-polar lebih larut dalam pelarut non-polar (Lau dkk., 2010).

Sebelum proses ekstraksi dilakukan, tahapan pengeringan sering kali diperlukan untuk menurunkan kadar air bahan dan meningkatkan efisiensi pelarut dalam mengekstrak senyawa target. Bahan yang telah dikeringkan dan digiling menjadi ukuran partikel lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar, sehingga kontak dengan pelarut menjadi lebih efektif.

Pada praktik UMKM, metode ekstraksi sederhana seperti maserasi (perendaman), dekokta (perebusan), atau infusa (penyeduhan) masih banyak digunakan karena peralatannya mudah diperoleh dan biaya relatif rendah. Meskipun demikian, pengendalian parameter proses tetap diperlukan agar ekstrak yang dihasilkan memiliki mutu yang konsisten.

14.3.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Ekstraksi

Efisiensi ekstraksi menunjukkan sejauh mana senyawa target dapat dipindahkan dari matriks bahan ke dalam pelarut secara optimal. Tingkat efisiensi ini tidak hanya menentukan rendemen ekstrak, tetapi juga memengaruhi konsentrasi, kestabilan, dan mutu produk akhir.

Beberapa faktor utama yang berperan dalam proses ekstraksi dijelaskan sebagai berikut.

1. Jenis dan Polaritas Pelarut

Pemilihan pelarut merupakan faktor paling krusial dalam proses ekstraksi. Setiap senyawa memiliki karakteristik kelarutan yang berbeda, sehingga prinsip kesesuaian polaritas perlu diperhatikan. Pelarut polar seperti air dan etanol umumnya digunakan untuk mengekstraksi senyawa fenolik, flavonoid, dan glikosida. Sementara itu, pelarut kurang polar lebih sesuai untuk mengekstraksi komponen seperti minyak atsiri atau senyawa lipofilik.

Dalam pengembangan pangan sehat skala UMKM, pemilihan pelarut juga harus mempertimbangkan aspek keamanan pangan, ketersediaan, serta kemudahan pemisahan kembali dari ekstrak.

2. Ukuran Partikel Bahan

Bahan yang digiling hingga ukuran partikel lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar, sehingga kontak antara bahan dan pelarut menjadi lebih efektif. Luas permukaan yang meningkat akan mempercepat perpindahan massa senyawa aktif ke dalam pelarut. Namun, penggilingan yang terlalu halus dapat menyebabkan kesulitan dalam proses penyaringan dan meningkatkan kekeruhan ekstrak.

3. Suhu Ekstraksi

Peningkatan suhu umumnya mempercepat difusi dan meningkatkan kelarutan senyawa dalam pelarut, sehingga rendemen ekstraksi dapat meningkat. Akan tetapi, suhu yang terlalu tinggi berpotensi merusak senyawa yang sensitif terhadap panas. Oleh karena itu, penentuan suhu perlu disesuaikan dengan karakteristik komponen yang ingin diperoleh.

4. Waktu Kontak

Durasi ekstraksi memengaruhi jumlah senyawa yang berhasil larut. Pada tahap awal, peningkatan waktu kontak akan meningkatkan rendemen secara signifikan. Namun, setelah tercapai keseimbangan antara bahan dan pelarut, penambahan waktu tidak lagi memberikan peningkatan berarti. Waktu yang terlalu lama juga dapat meningkatkan risiko degradasi atau kontaminasi.

5. Rasio Bahan terhadap Pelarut

Perbandingan jumlah bahan dan volume pelarut menentukan konsentrasi gradien yang mendorong proses perpindahan massa. Rasio pelarut yang lebih besar umumnya meningkatkan efisiensi ekstraksi, tetapi perlu dipertimbangkan dari sisi efisiensi biaya dan proses pemekatan lanjutan.

6. Metode dan Intensitas Pengadukan

Pengadukan membantu mempercepat distribusi pelarut dan menjaga perbedaan konsentrasi di sekitar partikel bahan. Pada skala UMKM, pengadukan sederhana secara manual maupun menggunakan alat mekanis ringan sudah dapat meningkatkan hasil ekstraksi dibandingkan proses perendaman tanpa agitasi.

Dengan memahami faktor-faktor tersebut, pelaku usaha dapat mengoptimalkan proses ekstraksi tanpa harus menggunakan teknologi yang

kompleks. Penyesuaian sederhana pada ukuran partikel, suhu, atau rasio pelarut sering kali sudah mampu meningkatkan rendemen dan kualitas ekstrak secara signifikan.

14.3.4 Metode Ekstraksi yang Umum Digunakan pada Skala UMKM

Pemilihan metode ekstraksi pada skala UMKM umumnya mempertimbangkan kemudahan operasional, biaya investasi, keamanan pangan, serta ketersediaan peralatan. Meskipun teknologi ekstraksi terus berkembang, metode sederhana yang dioptimalkan dengan pengendalian parameter yang baik sering kali sudah memadai untuk menghasilkan ekstrak bermutu.

1. Maserasi (Perendaman)

Maserasi merupakan metode ekstraksi paling sederhana yang dilakukan dengan merendam bahan dalam pelarut selama periode waktu tertentu pada suhu ruang. Proses ini memungkinkan senyawa aktif berdifusi secara bertahap ke dalam pelarut hingga tercapai keseimbangan. Keunggulan metode ini adalah kemudahan penerapan dan tidak memerlukan peralatan khusus. Namun, waktu yang dibutuhkan relatif lama dan efisiensi ekstraksi dapat lebih rendah dibandingkan metode dengan pemanasan atau agitasi intensif. Bagi UMKM, maserasi sering digunakan untuk bahan herbal kering atau rempah yang tidak memerlukan perlakuan panas.

2. Infusa dan Dekokta

Metode ini memanfaatkan pemanasan sebagai faktor percepatan ekstraksi. Infusa dilakukan dengan menyeduh bahan menggunakan air panas dalam waktu relatif singkat, sedangkan dekokta melibatkan perebusan bahan selama durasi tertentu. Pemanasan membantu meningkatkan kelarutan dan mempercepat

difusi senyawa aktif. Metode ini umum digunakan untuk mengekstraksi komponen larut air dari daun, akar, atau kulit batang. Namun, kontrol suhu dan waktu perlu diperhatikan agar senyawa yang sensitif terhadap panas tidak mengalami degradasi.

3. Ekstraksi dengan Pelarut Organik Food Grade

Penggunaan pelarut seperti etanol food grade cukup umum pada UMKM yang memproduksi ekstrak herbal atau konsentrat bahan aktif. Etanol memiliki kemampuan melarutkan senyawa polar dan semi-polar serta relatif aman untuk aplikasi pangan apabila digunakan sesuai standar. Metode ini umumnya dikombinasikan dengan maserasi atau pemanasan ringan, kemudian dilanjutkan dengan proses penyaringan dan penguapan pelarut untuk memperoleh ekstrak yang lebih pekat.

4. Ekstraksi Berbantuan Pengadukan atau Pemanasan Terkontrol

Beberapa UMKM mulai memanfaatkan alat sederhana dengan pengaduk mekanis atau sistem pemanas terkontrol untuk meningkatkan efisiensi proses. Pengaturan suhu dan agitasi yang stabil membantu mempercepat perpindahan massa serta menghasilkan ekstrak yang lebih konsisten antar-batch produksi.

5. Teknologi Ekstraksi Lanjutan (Skala Berkembang)

Pada tahap pengembangan usaha, sebagian pelaku UMKM mulai mengenal teknologi seperti ekstraksi ultrasonik atau penggunaan alat refluks sederhana. Teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi dan rendemen, meskipun memerlukan investasi awal yang lebih besar dan pemahaman teknis yang memadai.

14.4 Integrasi Pengeringan dan Ekstraksi dalam Inovasi Produk Pangan Sehat

Pengeringan dan ekstraksi merupakan dua tahapan proses yang saling melengkapi dalam inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal. Pengeringan berperan dalam menstabilkan bahan baku, sementara ekstraksi berfungsi memanfaatkan komponen bioaktif secara lebih terarah dan terkonsentrasi. Integrasi keduanya memungkinkan peningkatan mutu, konsistensi, dan nilai ekonomi produk secara signifikan.

Pada tahap awal, pengeringan yang dilakukan dengan parameter terkontrol dapat menurunkan kadar air hingga batas aman sekaligus mempermudah proses penggilingan. Bahan kering yang berukuran lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar, sehingga kontak dengan pelarut pada tahap ekstraksi menjadi lebih efektif. Selain itu, kadar air yang rendah membantu mencegah pengenceran pelarut dan meningkatkan efisiensi perpindahan massa selama ekstraksi.

Dari sisi mutu fungsional, pengeringan yang tepat dapat mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif sebelum diekstraksi. Jika proses pengeringan terlalu ekstrem, degradasi awal dapat terjadi sehingga kandungan senyawa aktif yang tersedia untuk diekstraksi menjadi lebih rendah. Sebaliknya, pengeringan yang terlalu ringan dan menyisakan kadar air tinggi dapat memicu kerusakan mikrobiologis maupun kimia yang berdampak pada kualitas ekstrak.

Dalam konteks UMKM, integrasi kedua proses ini dapat diterapkan secara bertahap. Misalnya, bahan herbal lokal dikeringkan menggunakan cabinet dryer bersuhu moderat, kemudian digiling dan diekstraksi dengan pelarut food grade untuk menghasilkan ekstrak pekat. Ekstrak tersebut selanjutnya dapat diformulasikan menjadi minuman instan, kapsul herbal, atau bahan tambahan pangan fungsional. Dengan pendekatan ini, satu komoditas lokal

dapat dikembangkan menjadi berbagai bentuk produk dengan nilai jual yang lebih tinggi.

Integrasi pengeringan dan ekstraksi juga mendukung standarisasi produk. Dengan parameter proses yang terdokumentasi, pelaku usaha dapat menjaga konsistensi kadar senyawa aktif antar-batch produksi. Hal ini penting untuk membangun kepercayaan konsumen dan meningkatkan daya saing produk di pasar yang semakin menuntut aspek keamanan dan kualitas.

Dengan demikian, pengeringan dan ekstraksi tidak hanya dipahami sebagai tahapan teknis, tetapi sebagai strategi teknologi yang terintegrasi dalam pengembangan inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal. Pendekatan ini membuka peluang diversifikasi produk sekaligus memperkuat posisi UMKM dalam rantai nilai industri pangan.

Bab 15

Teknologi Pengemasan

15.1 Pendahuluan

Pengemasan adalah salah satu tahap krusial dalam pengolahan hasil pertanian. Produk pertanian, baik yang masih segar maupun yang sudah diproses, memerlukan pengemasan yang tepat untuk menjaga kualitasnya selama distribusi dan penyimpanan. Pengemasan tidak hanya berfungsi sebagai pelindung dari faktor eksternal seperti kelembaban, oksigen, dan suhu, tetapi juga berfungsi sebagai sarana untuk meningkatkan daya tarik produk di pasar dan memberikan informasi yang diperlukan oleh konsumen.

Pengemasan adalah setiap produk yang digunakan untuk menampung, melindungi, menangani, mengirimkan dan menyajikan barang, mulai dari bahan mentah hingga produk jadi, dari produsen hingga konsumen (Ropikoh et al., 2024).

Pengemasan pangan merupakan bagian yang menyatu dan esensial dalam proses pengolahan pangan modern, dan akan memainkan peran yang

semakin penting dalam industri pangan seiring dengan berkembangnya penggunaan teknologi pengolahan pangan baru dan alternatif. Pengemasan pangan didefinisikan sebagai suatu sistem industri dan pemasaran yang terkoordinasi untuk membungkus produk ke dalam suatu wadah guna memenuhi berbagai kebutuhan berikut: penampungan, perlindungan, pengawetan, distribusi, identifikasi, komunikasi, dan kemudahan penggunaan (Smith, 2004).

Pengemasan dapat didefinisikan berdasarkan perannya dalam perlindungan, misalnya:

"Pengemasan adalah sarana untuk memastikan pengiriman produk secara aman dalam kondisi utuh kepada pengguna akhir dengan biaya minimal"(Fellows, 2016).

Atau, pengemasan juga dapat didefinisikan dalam konteks bisnis, yaitu:

"Fungsi teknis dan ekonomi untuk mengoptimalkan biaya pengiriman barang sambil memaksimalkan penjualan dan keuntungan"(Fellows, 2016).

Pengemasan adalah perlindungan terhadap bahan atau produk melalui wadah yang dirancang untuk mengisolasi isinya, sampai pada tingkat tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, dari pengaruh luar. Dengan cara ini, produk dikondisikan dalam lingkungan yang sesuai di dalam kemasan'. Penambahan frasa 'sampai pada tingkat tertentu yang telah ditentukan' dalam definisi tersebut dimaksudkan karena tidak selalu diinginkan untuk sepenuhnya mengisolasi isi dari lingkungan luar.

Saat ini, sebagian besar bahan pangan disediakan kepada konsumen dalam bentuk kemasan. Bahkan bahan pangan yang dijual tanpa kemasan, seperti beberapa jenis buah dan sayur, pada suatu tahap dalam distribusinya tetap akan dikemas secara sederhana, misalnya dengan kantong, kotak, atau metode pengemasan kasar lainnya. Berbagai jenis bahan digunakan dalam pengemasan pangan, termasuk: kertas, karton, papan serat, film selulosa regenerasi, film polimer, wadah setengah kaku dan kaku yang terbuat dari bahan polimer, aluminium foil, logam kaku, kaca, kayu, tekstil, dan

gerabah. Sering kali, kombinasi dari dua atau lebih bahan digunakan untuk mengemas satu produk.

Pengemasan merupakan bagian penting dari seluruh operasi pengolahan pangan, dan pada beberapa proses (seperti pengalengan – lihat Bab 12 dan Modified Atmosphere Packaging/MAP – lihat Bab 20), pengemasan menjadi bagian yang integral dari proses itu sendiri. Telah terjadi perkembangan yang signifikan dalam hal bahan dan sistem pengemasan selama sepuluh tahun terakhir, yang berperan penting dalam menurunkan biaya pengemasan sekaligus mendukung pengembangan produk pangan baru dan pangan yang diproses secara minimal (lihat Bab 9, 19, dan 20).

Pengemasan dapat didefinisikan berdasarkan perannya dalam melindungi, misalnya sebagai ‘pengemasan adalah sarana untuk menjamin pengiriman produk dalam kondisi baik kepada pengguna akhir dengan biaya minimum’, atau dapat pula didefinisikan dalam konteks bisnis sebagai ‘fungsi teknis dan ekonomis untuk mengoptimalkan biaya distribusi barang sambil memaksimalkan penjualan dan keuntungan’.

Pengemasan merupakan aspek penting dalam sistem penanganan dan pengolahan hasil pertanian yang bertujuan untuk mempertahankan mutu, memperpanjang umur simpan, serta memfasilitasi distribusi dan pemasaran produk. Dalam konteks pascapanen, pengemasan tidak hanya dilihat sebagai wadah semata, tetapi sebagai sistem terpadu yang berperan dalam menjaga kualitas fisik, kimia, dan biologis produk pertanian selama penanganan, penyimpanan, transportasi, hingga sampai ke tangan konsumen.

Produk pertanian, khususnya hasil hortikultura, dikenal sangat rentan terhadap kerusakan fisik dan degradasi mutu karena sifatnya yang mudah rusak (*perishable*), kadar airnya tinggi, dan memiliki laju respirasi yang cukup cepat. Oleh karena itu, pengemasan menjadi alat utama dalam mengendalikan faktor-faktor lingkungan yang dapat mempercepat kerusakan tersebut, seperti kelembaban relatif, oksigen, suhu, cahaya, dan kontaminasi mikroba. Pengemasan yang tepat mampu memperlambat laju

respirasi, mengurangi transpirasi dan kehilangan air, serta melindungi dari kerusakan mekanis selama distribusi (Ahvenainen, 2003).

Selain fungsi protektif, pengemasan juga berperan dalam fungsi komunikasi dan informasi. Label pada kemasan memberikan informasi penting kepada konsumen, seperti nama produk, komposisi, tanggal kedaluwarsa, petunjuk penggunaan, dan penyimpanan. Dengan berkembangnya teknologi, fungsi pengemasan semakin meluas, mencakup pelacakan produk (traceability), pelabelan cerdas (smart labels), serta pemantauan kondisi produk secara real-time melalui sensor berbasis Internet of Things (IoT) (Kuswandi et al., 2021).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran lingkungan, isu keberlanjutan dalam pengemasan juga menjadi perhatian global. Penggunaan plastik konvensional yang tidak ramah lingkungan mendorong penelitian dan pengembangan bahan kemasan alternatif berbasis biopolimer, seperti pati, kitosan, dan selulosa, yang dapat terurai secara alami (biodegradable). Kemasan ramah lingkungan ini tidak hanya mampu menggantikan plastik sekali pakai, tetapi juga dapat berfungsi sebagai kemasan aktif dan dapat dimakan (edible packaging), yang semakin diminati dalam industri pangan modern (Siracusa et al., 2008; Jang et al., 2020).

Saat ini sebagian besar bahan makanan dipasok ke konsumen dalam bentuk kemasan. Bahkan makanan yang dijual tanpa kemasan, seperti beberapa buah dan sayuran, akan dikantongi, dikotak, atau dikemas secara kasar pada tahap tertentu selama distribusi. Berbagai macam bahan kemasan digunakan untuk mengemas makanan, termasuk: kertas, papan kertas, papan serat, film selulosa yang diregenerasi, film polimer, wadah semikaku dan kaku yang terbuat dari bahan polimer, lembaran logam, logam kaku, kaca, kayu, tekstil, dan gerabah.

Kombinasi dua atau lebih bahan sering digunakan untuk mengemas satu produk. Penting untuk melihat kemasan sebagai bagian integral dari pemrosesan dan pengawetan makanan. Keberhasilan sebagian besar metode pengawetan bergantung pada kemasan yang tepat, misalnya untuk

mencegah kontaminasi mikrobiologis pada makanan yang diolah dengan panas atau penyerapan air oleh makanan yang dikeringkan.

Penting untuk mempertimbangkan kemasan pada tahap awal dalam setiap pengembangan produk, tidak hanya karena kepentingan teknisnya, tetapi juga karena implikasi biayanya. Kemasan tidak boleh menimbulkan bahaya kesehatan bagi konsumen. Tidak boleh ada zat berbahaya yang merembes dari bahan kemasan ke dalam makanan. Kemasan tidak boleh menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme patogen ketika kondisi anaerobik tercipta di dalam kemasan (Brennan, 2006).

Kemasan harus mudah digunakan. Kemasan harus mudah dibuka dan ditutup kembali, jika memungkinkan. Isinya harus mudah dikeluarkan dari wadah. Kemasan harus dirancang agar nyaman digunakan. Kemasan sebaiknya mudah dibuka dan dapat ditutup kembali jika diperlukan. Isi produk harus mudah dikeluarkan dari wadah. Contoh lain dari kemasan yang praktis adalah produk “boil in the bag (seperti the celup) dan kemasan yang dapat digunakan dalam microwave (Brennan, 2006).

Secara umum, teknologi pengemasan berkembang seiring dengan kebutuhan konsumen, regulasi pemerintah, dan tuntutan industri untuk menyediakan produk yang aman, berkualitas, dan berkelanjutan. Bab ini akan tentang fungsi dan prinsip dasar pengemasan, jenis dan klasifikasi serta teknologi, dan inovasi dalam pengemasan hasil pertanian.

15.2 Fungsi dan Prinsip Dasar Pengemasan

Fungsi utama dari suatu kemasan adalah sebagai wadah untuk produk dan melindunginya dari berbagai bahaya yang dapat memengaruhi mutu produk selama penanganan, distribusi, dan penyimpanan.

Kemasan juga memainkan peran penting dalam pemasaran dan penjualan produk (Smith, 2004):

1. Penampungan (Containment)

Fungsi dasar pengemasan ini merupakan faktor kunci bagi seluruh fungsi kemasan lainnya. Suatu produk pangan harus ditampung terlebih dahulu sebelum kemasan dapat melindungi, mengawetkan, mengidentifikasi, dan memindahkannya dari satu tempat ke tempat lain.

2. Perlindungan (Protection)

Kemasan yang baik akan melindungi isinya dari pengaruh lingkungan (seperti uap air, oksigen, cahaya, mikroorganisme, kontaminan lainnya, getaran, guncangan, dan sebagainya), sekaligus melindungi lingkungan dari isi produk tersebut. Perlindungan sering kali terjadi bersamaan dengan fungsi penampungan dan/atau pengawetan. Jika suatu produk tidak tertampung dengan baik selama proses distribusi, maka lingkungan tidak akan terlindungi dan produk tidak akan terawetkan.

3. Pengawetan (Preservation)

Kemasan dapat berfungsi untuk mengawetkan dan/atau memperpanjang umur simpan produk pangan. Kaleng atau kantong kemasan dapat mengawetkan makanan yang telah distabilisasi secara termal dengan membentuk penghalang antara makanan yang telah diproses dan stabil pada suhu ruang dengan lingkungan (terutama terhadap mikroorganisme).

Cara lain di mana kemasan dapat mengawetkan makanan meliputi:

- a. Bertindak sebagai penghalang terhadap uap air, oksigen, karbon dioksida, senyawa volatil dan kontaminan lainnya, cahaya, serta mikroorganisme.

- b. Berinteraksi dengan produk untuk memperpanjang umur simpan (seperti pada active packaging atau kemasan aktif).
4. Distribusi (Transportasi)

Desain kemasan yang baik akan memudahkan pergerakan produk secara efektif melalui seluruh rantai distribusi. Kemampuan untuk menyatukan beberapa kemasan individual ke dalam wadah yang lebih besar secara efisien sangat diinginkan untuk keperluan pengiriman dan penanganan. Produk pangan sering kali dikemas dalam kemasan distribusi industri (seperti kotak karton bergelombang dan beban palet yang disatukan) yang dirancang untuk melindungi produk dari tekanan yang dihadapi selama proses transportasi, termasuk getaran, guncangan, dan gaya tekan.
5. Identifikasi dan Komunikasi

Secara hukum, suatu kemasan harus mencantumkan nama spesifik produk, jumlah isi, alamat perusahaan yang bertanggung jawab, dan sering kali juga informasi nilai gizi. Desain kemasan juga berfungsi sebagai media komunikasi melalui bahan, bentuk dan ukuran, warna, simbol atau merek yang mudah dikenali, serta ilustrasi. Simbol *Universal Product Code* (UPC) digunakan untuk mempercepat proses pemeriksaan di kasir ritel serta untuk pelacakan dan pengelolaan inventaris di gudang dan pusat distribusi. Struktur dasar dari kode batang (barcode) terdiri atas garis dan ruang persegi panjang dengan kontras tinggi, dan rasio antara lebar garis serta ruang berisi informasi mengenai produsen dan produk. Tujuan akhir dari identifikasi dan komunikasi melalui pelabelan dan desain kemasan adalah untuk menjual produk.
6. Kemudahan (Convenience)

Konsumen menuntut produk yang sesuai dengan gaya hidup mereka; oleh karena itu, kemasan harus dirancang agar nyaman

dan mudah digunakan. Desain kemasan yang praktis akan membuatnya mudah dibuka, dipegang, dan digunakan. Fitur desain kemasan yang nyaman mencakup: kemampuan membagi isi secara proporsional, desain ergonomis, serta kemampuan untuk digunakan kembali, ditutup kembali, mudah dibuka, dapat digunakan dalam microwave, didaur ulang, dan mudah dikenali.

15.3 Jenis dan Klasifikasi Bahan Kemasan

Pemilihan bahan kemasan merupakan keputusan strategis dalam teknologi pengemasan, karena akan menentukan efektivitas perlindungan terhadap produk, efisiensi logistik, keamanan pangan, daya tarik pasar, dan dampak lingkungan. Bahan kemasan harus dipilih berdasarkan kesesuaian dengan sifat produk, metode penyimpanan, kondisi distribusi, serta kebutuhan fungsional dan estetika produk (Smith, 2004).

Secara umum, bahan kemasan dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur fungsionalnya (primer, sekunder, tersier), berdasarkan tujuannya (kemasan konsumen dan kemasan industri) berdasarkan jenis bahan penyusunnya (plastik, logam, kaca, kertas/karton, dan biopolimer). Jenis kemasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.1 (Smith, 2004).

15.3.1 Jenis Kemasan berdasarkan Struktur Fungsionalnya

1. Kemasan primer adalah kemasan yang bersentuhan langsung dengan produk pangan dan bertanggung jawab terhadap sebagian besar, bahkan seluruh, fungsi umum pengemasan.
2. Kemasan sekunder berfungsi untuk menampung kemasan primer dan sering kali memberikan perlindungan fisik terhadap produk pangan maupun kemasan primernya.

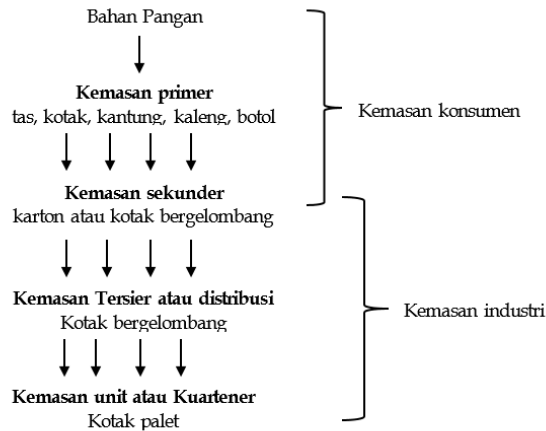
3. Kemasan distribusi (tersier) menampung kemasan sekunder dan berfungsi untuk melindungi isinya serta memudahkan dalam proses penanganan dan distribusi.
4. Kemasan unit (kuartener) terdiri atas kemasan distribusi yang diikat atau disatukan untuk memudahkan penanganan dan penyimpanan di sepanjang rantai distribusi.

15.3.2 Jenis Kemasan Berdasarkan Tujuannya

Pengemasan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan akhirnya:

1. Kemasan konsumen adalah kemasan yang dijual di toko kelontong atau swalayan dan pada akhirnya sampai ke tangan konsumen (biasanya berupa kemasan primer dan sekunder).
2. Kemasan industri digunakan untuk keperluan pergudangan dan distribusi produk yang dijual di toko kelontong (meliputi kemasan distribusi dan unit), atau untuk mengangkut produk dari satu produsen ke produsen lain guna diproses lebih lanjut.

Kemasan konsumen untuk sereal sarapan atau biskuit terdiri atas kemasan primer (kantong plastik yang berisi produk pangan, yang berfungsi memperpanjang umur simpan dengan melindunginya dari migrasi kelembaban yang tidak diinginkan ke dalam kemasan) dan kemasan sekunder (kotak kertas karton yang melindungi kemasan primer dan produknya, memudahkan penanganan, serta memuat informasi merek dan label untuk berkomunikasi dengan konsumen) (Soroka, 1999).



Gambar 15.1: Pembagian jenis kemasan

Sebaliknya, kemasan konsumen untuk keripik kentang biasanya hanya terdiri dari kemasan primer, yaitu kantong laminasi [sering kali terbuat dari lapisan oriented polypropylene (OPP), polyethylene (PE), dan polypropylene bermetalitasi yang dapat disegel dengan panas] yang berfungsi untuk menampung keripik, memperpanjang umur simpan dengan melindungi dari migrasi kelembaban, oksigen, dan cahaya, memudahkan penanganan, serta memuat informasi merek dan label.

Kemasan-kemasan konsumen ini kemudian dimasukkan ke dalam wadah pengiriman dari karton bergelombang, yang kemudian dipaletkan atau disusun menjadi kemasan unit (unit load) untuk melindungi produk selama proses distribusi.

15.3.3 Jenis kemasan berdasarkan jenis bahan penyusunnya

1. Kemasan Plastik

Plastik merupakan bahan kemasan yang paling luas digunakan dalam industri hasil pertanian karena fleksibilitas, ringan, tahan terhadap air, dan dapat dibentuk dalam berbagai desain.

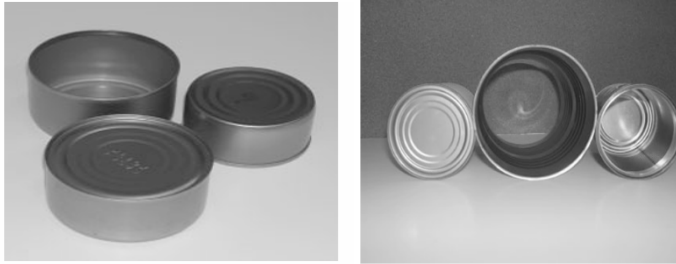
Jenis plastik yang umum digunakan antara lain:

- a. Low-Density Polyethylene (LDPE): Digunakan untuk kantong buah dan sayur karena fleksibel dan tahan air, tetapi permeabilitas gasnya tinggi.
- b. High-Density Polyethylene (HDPE): Memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi dan digunakan untuk botol susu dan minyak.
- c. Polyethylene Terephthalate (PET): Umumnya digunakan untuk botol minuman dan memiliki sifat penghalang gas dan aroma yang baik.
- d. Polypropylene (PP): Stabil pada suhu tinggi, cocok untuk produk yang dipanaskan seperti mie instan atau produk beku.
- e. Polystyrene (PS): Umumnya digunakan untuk wadah sekali pakai dan pembungkus makanan ringan.

Meskipun unggul secara teknis, kemasan plastik menimbulkan masalah lingkungan karena sulit terdegradasi secara alami, sehingga inovasi pengembangan plastik biodegradable menjadi topik penting dalam penelitian saat ini

2. Kemasan Logam

Bahan logam seperti baja, aluminium, dan timah digunakan untuk produk dengan umur simpan panjang dan memerlukan perlindungan tinggi terhadap oksigen, cahaya, dan mikroorganisme. Jenis kemasan logam yang umum digunakan untuk makanan terdiri dari kaleng tiga bagian, kaleng dua bagian dan kantong aluminium (Gambar 15.2.)



Gambar 15.2: Kemasan kaleng 2 bagian (a) dan 3 bagian (b)

- a. Kaleng baja berlapis timah (tinplate) banyak digunakan untuk produk daging, sayur, dan buah kaleng.
- b. Aluminium foil digunakan sebagai lapisan penghalang pada kemasan multilapis untuk produk yang sensitif terhadap oksigen dan kelembaban seperti kopi bubuk dan produk bubuk instan.

Keunggulan kemasan logam antara lain kekuatan mekanis tinggi, kedap terhadap cahaya dan gas, serta umur simpan panjang. Kelemahannya adalah berat dan biaya produksi yang relatif lebih tinggi dibanding bahan lainnya.

3. Kemasan Kaca

Kaca merupakan bahan kemasan inert yang sangat baik untuk menjaga stabilitas kimia dan rasa produk. Digunakan pada produk cair seperti saus, minuman, dan selai.

Keunggulannya meliputi:

- a. Tidak bereaksi dengan isi produk.
- b. Tahan terhadap suhu tinggi.
- c. Kedap terhadap uap air dan gas.

Namun, kaca memiliki kekurangan berupa kerapuhan dan berat yang tinggi, sehingga meningkatkan biaya transportasi dan risiko kerusakan mekanik.

Menurut (Singh, 2007, kemasan kaca terbagi atas beberapa kelompok yaitu:

- a. Toples (jar) yang tahan terhadap perlakuan panas,
 - b. Toples (jar), gelas, dan sejenisnya untuk produk yang tidak mengalami perlakuan panas (seperti selai, sayuran yang diasamkan, dan sebagainya),
 - c. Botol kaca untuk produk yang dipasteurisasi (seperti jus tomat, jus buah, dll.) atau yang tidak dipasteurisasi (seperti sirup), dan
 - d. Wadah berkapasitas besar (seperti botol labu dan sejenisnya).
4. Kemasan Kertas dan Karton

Kertas dan karton digunakan secara luas sebagai kemasan sekunder atau pelindung tambahan untuk kemasan distribusi (seperti kotak pengiriman dari karton bergelombang dan sebagainya) karena mudah dicetak dan ramah lingkungan. Keuntungan lainnya adalah biaya yang relatif rendah dan beratnya yang ringan.

- a. Kertas kraft digunakan untuk kemasan kantong bahan kering seperti tepung terigu dan gula.
- b. Karton bergelombang banyak digunakan sebagai kemasan luar untuk buah-buahan segar dan produk olahan.
- c. Paperboard digunakan untuk kemasan susu dan jus dalam bentuk Tetra Pak, sering dikombinasikan dengan lapisan plastik dan aluminium.

Namun, kelemahan utama bahan ini adalah sensitivitas terhadap air dan kelembaban tinggi, kemampuan penghalang terhadap uap air dan gas yang rendah, serta keterbatasan dalam kemampuan pembentukan (formabilitas). Contoh kemasan kertas dan karton dapat dilihat pada Gambar 15.3.



Gambar 15.3: Kemasan kertas dan karton

5. Kemasan Multilapis (Multilayer Packaging)

Kemasan multilapis adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan kemasan untuk mendapatkan sifat protektif yang optimal.

Contohnya:

- a. Lapisan luar PET (kekuatan mekanik)
- b. Lapisan tengah aluminium foil (penghalang cahaya dan gas)
- c. Lapisan dalam LDPE (kontak langsung dengan produk)

Multilayer packaging banyak digunakan untuk produk yang memerlukan perlindungan tinggi seperti kopi instan, produk beku, atau makanan siap saji (Smith, 2004).

15.4 Faktor Faktor yang memengaruhi Pemilihan Bahan Kemasan

Beberapa faktor yang memengaruhi pemilihan bahan kemasan diantaranya adalah kerusakan mekanis, karakteristik permeabilitas, suhu, tahan terhadap lemak, cahaya dan perlindungan terhadap kontaminasi mikroba yang diuraikan berikut ini (Brennan, 2006).

15.4.1 Kerusakan Mekanis

Produk pangan segar, olahan, dan hasil manufaktur sangat rentan terhadap kerusakan mekanis. seperti memar pada buah-buahan lunak, hancurnya sayuran yang telah diproses dengan pemanasan, dan retaknya biskuit. Kerusakan semacam ini dapat terjadi akibat benturan atau guncangan mendadak selama penanganan dan transportasi, getaran selama pengangkutan. Pengemasan yang tepat, prosedur penanganan dan transportasi yang baik, serta penggunaan peralatan yang sesuai dapat mengurangi frekuensi dan tingkat keparahan kerusakan mekanis tersebut.

Pemilihan bahan kemasan dengan kekuatan dan kekakuan yang memadai dapat mengurangi kerusakan akibat beban tekanan. Bahan seperti logam, kaca, dan plastik kaku dapat digunakan untuk kemasan primer atau kemasan konsumen. Sementara itu, bahan papan serat (fibreboard) dan kayu digunakan untuk kemasan sekunder atau kemasan luar. Penambahan bahan bantalan ke dalam kemasan dapat memberikan perlindungan terhadap benturan, guncangan, dan getaran. Contoh bahan bantalan tersebut antara lain kertas bergelombang (corrugated), papan pulp, dan plastik berbusa (foam).

15.4.2 Karakteristik Permeabilitas

Laju permeasi uap air, gas-gas (seperti O₂, CO₂, N₂, etilen), dan senyawa bau volatil ke dalam atau keluar dari kemasan merupakan factor penting yang harus dipertimbangkan dalam pengemasan yang menggunakan film, kertas yang dilaminasi, dan dilapisi. bahan kemasan yang memiliki

permeabilitas rendah terhadap uap air serta memiliki sistem penyegelan yang efektif, cocok digunakan untuk mengemas produk dengan kadar air rendah seperti bubuk kering yang dapat menggumpal dan kehilangan sifat mengalir bebasnya serta Biskuit dan makanan ringan dapat kehilangan kerenyahannya.

Sementara itu buah dan sayuran segar, yang tetap melakukan respirasi setelah dipanen membutuhkan bahan kemasan yang bersifat semipermeabel terhadap uap air. Untuk produk yang memiliki laju respirasi tinggi, bahan kemasan dapat diberi lubang kecil (perforasi). Saat ini telah tersedia berbagai jenis film mikroperforasi yang dirancang khusus untuk aplikasi tersebut.

15.4.3 Suhu

Kemasan harus mampu menahan perubahan suhu yang mungkin terjadi, tanpa penurunan kinerja atau perubahan tampilan yang tidak diinginkan. Hal ini sangat penting saat makanan dipanaskan atau didinginkan dalam kemasan. Metode pemanasan dapat memengaruhi pemilihan jenis kemasan. Banyak bahan kemasan baru telah dikembangkan untuk makanan yang akan diproses atau dipanaskan dengan gelombang mikro.

15.4.4 Tahan Terhadap Lemak

Untuk makanan berlemak, penting untuk mencegah keluarnya lemak atau minyak ke bagian luar kemasan, karena dapat merusak tampilan dan kemungkinan mengganggu pencetakan dan dekorasi. Kertas anti-lemak dan kertas perkamen dapat memberikan perlindungan yang memadai untuk makanan berlemak kering, seperti cokelat dan susu bubuk, sedangkan lapisan film atau laminasi hidrofilik digunakan untuk makanan basah, seperti daging atau ikan.

15.4.5 Cahaya

Banyak komponen makanan yang sensitif terhadap cahaya, terutama pada spektrum biru dan ultraviolet. Vitamin dapat rusak, warna dapat memudar,

dan lemak dapat menjadi tengik jika terkena gelombang cahaya tersebut. Penggunaan bahan pengemas yang tidak tembus cahaya akan mencegah perubahan ini. Jika diinginkan agar isinya terlihat, misalnya untuk memeriksa kejernihan cairan, bahan berwarna yang menyaring cahaya gelombang pendek dapat digunakan. Botol kaca kuning, yang umum digunakan untuk bir di Inggris, menjalankan fungsi ini.

15.4.6 Perlindungan Terhadap Kontaminasi Mikroba

Peran lain dari kemasan mungkin untuk mencegah atau membatasi kontaminasi isi oleh mikroorganisme dari sumber di luar kemasan. Hal ini paling penting dalam kasus makanan yang disterilkan dengan panas dalam kemasan seperti kemasan kaleng logam, karton atau wadah lain, di mana kontaminasi pascaproses sangat penting untuk tidak terjadi.

15.5 Teknologi dan Sistem Pengemasan

15.5.1 Modified Atmosphere Packaging (MAP)

MAP (Modified Atmosphere Packaging) pada prinsipnya yaitu pengeluaran udara dari dalam kemasan dan pengantiannya dengan satu jenis gas atau campuran gas yang berbeda dari komposisi udara normal (yang terdiri atas 78,08% nitrogen (N_2), 20,96% oksigen (O_2), 0,04% karbon dioksida (CO_2), sejumlah uap air yang bervariasi, dan jejak gas inert).

Selanjutnya, komposisi atmosfer gas di dalam kemasan dengan atmosfer termodifikasi (MA) akan mengalami perubahan secara terus-menerus selama penyimpanan, akibat dari penyerapan gas, respirasi beberapa jenis produk pangan, reaksi biokimia, dan pertukaran gas melalui bahan kemasan MA tersebut. Data komposisi gas yang dapat digunakan dalam MAP yang sesuai dengan kebutuhan produk pangan tertentu seperti yang disajikan pada Tabel 15.1 (Tucker, 2008).

Tabel 15.1: Panduan komposisi gas MAP pada beberapa produk

Jenis Produk	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
Buah/sayuran segar	3-10	2-10	80-95
Sayuran (sudah dimasak)	25-35	-	65-75
Makanan dan minuman cair	-	-	100
Roti	60-100	-	0-40
Produk makanan kering	-	-	100

Beberapa keuntungan MAP dalam pengolahan pangan diantaranya yaitu:

1. Kemampuan untuk menggunakan pengemasan dan distribusi secara terpusat, sehingga dapat mengurangi pengemasan ditingkat penjual.
2. Memudahkan pembelian bahan baku dalam jumlah yang lebih besar
3. Peningkatan daya tarik penjualan karena warna dan penyajian produk makanan yang menarik
4. Kemasan higienis tersegel yang mencegah tetesan dan bau yang berasal dari produk selama distribusi
5. Memperpanjang jarak rantai pasokan yang lebih jauh dan membantu meningkatkan pemasaran produk
6. Mengurangi penggunaan bahan pengawet buatan (Tucker, 2008).

Namun, penggunaan MAP juga mempunyai beberapa kerugian yang harus dipertimbangkan sebelum mengaplikasikan pada produk pangan diantaranya sebagai berikut:

1. MAP membutuhkan biaya modal yang besar terutama untuk mesin dan perlengkapannya
2. Biaya gas dan bahan kemasan khusus untuk MAP
3. Biaya peralatan analisis gas dan pengujian integritas segel

4. Peningkatan volume kemasan, sehingga akan memengaruhi biaya transportasi dan display di dalam toko-toko (Tucker, 2008)

Penelitian tentang aplikasi MAP dalam pengawetan hasil pertanian dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 15.2: Hasil penelitian aplikasi MAP untuk hasil pertanian

Aplikasi MAP	Hasil
Aplikasi MAP pada buah durian (Mulyawanti et al., 2018)	Buah durian yang dikemas dengan plastik PE (tebal 0,06 mm dan perforasi 0,5 cm) pada suhu 12-15°C dapat memperpanjang umur simpan sampai 21 hari
Aplikasi MAP pada buah naga (Sutrisno dan Purwanto, 2010)	Buah naga yang disimpan dalam kemasan MAP O ₂ : 2-4%, CO ₂ 6-8%) pada suhu 10°C dapat memperpanjang umur simpan sampai 25 hari
Kombinasi MAP dan <i>active packaging</i> pada strowberi (Mahecha-rubiano et al., 2024)	kombinasi MAP dan <i>active packaging</i> menggunakan 50 mg mentol yang diserap dalam 2 g bentonit di dalam sachet dapat menghambat aktivitas jamur dan memperpanjang umur simpan strowbery
Aplikasi MAP pada buah kesemek «Fuyu (Hasan et al., 2025)	Aplikasi MAP pada buah kesemek jenis fuyu dapat memperpanjang umur simpan sampai 60 hari

15.5.2 Active Packaging

Kemasan aktif yang juga dikenal sebagai kemasan interaktif atau kemasan pintar adalah sistem pengemasan yang berinteraksi secara aktif dengan isi kemasan atau lingkungan internal, untuk meningkatkan stabilitas dan keamanan produk. Kemasan aktif merespons perubahan yang terjadi di lingkungan internal maupun eksternal dengan mengubah sifat atau karakteristiknya sendiri untuk meningkatkan pengawetan produk pangan sambil tetap menjaga kualitas gizi. Zat aktif dalam kemasan ini dapat ditempatkan dalam bentuk sachet kecil atau dicampurkan langsung ke dalam bahan penyusun komponen kemasan (Smith, 2004).

Beberapa teknologi yang umum digunakan:

1. Absorber O₂ (oxygen scavengers): Menyerap oksigen residu dalam kemasan untuk mencegah oksidasi dan pertumbuhan mikroba.
2. Absorber CO₂ dan ethylen scavenger: Mengatur atmosfer untuk buah dan sayuran yang sensitif.
3. Kemasan antimikroba: Mengandung senyawa antimikroba alami (seperti minyak atsiri) atau sintetis (seperti triclosan) yang dilepaskan secara bertahap.
4. Pengatur kelembapan (moisture regulators),

Kemasan aktif membantu memperpanjang umur simpan dan meningkatkan keamanan mikrobiologis produk, terutama untuk produk segar dan semi-basah

Menurut Barbosa-cánovas, (2003) beberapa alasan khusus untuk mengembangkan kemasan aktif adalah sebagai berikut:

1. Penghilangan komponen yang tidak diinginkan
2. Penambahan bahan yang diinginkan
3. Aktivitas antimikroba pada permukaan kemasan
4. Perubahan sifat fisik kemasan

Tabel 15.3: Persyaratan untuk Makanan yang Ditangani dengan Kemasan Aktif (Barbosa-cánovas, 2003)

Persyaratan atau kebutuhan bahan pangan	Aktivitas Pengemasan	
	Pelepasan	Absorpsi
Mikrobiologi	Pengawetan	Oksigen, air
Kimia	Antioksidan	Oksigen
Fisiologis	Inhibitor	Keseimbangan gas

Presentasi	Panas	Panas, Air
Sensori	Inhibitor	Flavour dan aroma

Bab 16

Keamanan Pangan pada Produksi Skala Kecil

16.1 Keamanan Pangan dalam Perspektif Global

Keamanan pangan merupakan salah satu pilar utama dalam sistem pangan modern yang berorientasi pada perlindungan kesehatan masyarakat, dalam ruang lingkup globalisasi perdagangan pangan dan meningkatnya kompleksitas rantai pasok, dan jaminan bahwa pangan yang dikonsumsi masyarakat aman dari bahaya biologis, kimia maupun fisik. Kondisi seperti ini menjadi isu strategis yang mendapat perhatian serius ditingkat nasional maupun internasional. Organisasi internasional seperti World Health Organization (WHO) dan Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) telah merumuskan konsep dan standar keamanan pangan sebagai dasar perlindungan konsumen sekaligus fasilitator perdagangan pangan global.

Menurut World Health Organization, keamanan pangan (food safety) adalah jaminan bahwa pangan tidak akan menyebabkan bahaya bagi konsumen. Hal ini menekankan pentingnya pengendalian risiko disepanjang rantai pangan, mulai dari produksi primer hingga konsumsi akhir. WHO memandang keamanan pangan sebagai bagian integral dari sistem kesehatan masyarakat, karena pangan yang tidak aman berkontribusi signifikan terhadap beban penyakit bawaan pangan (foodborne diseases) secara global.

Sementara menurut Food and Agriculture Organization of the United Nations mendefinisikan keamanan pangan sebagai kondisi dan upaya sistematis untuk memastikan bahwa pangan yang tersedia bagi konsumen aman dan tidak menimbulkan dampak merugikan terhadap kesehatan ketika dikonsumsi sesuai dengan tujuan penggunaannya.

FAO menempatkan keamanan pangan dalam kerangka sistem pangan berkelanjutan, yang mencakup produksi, pengolahan, distribusi, hingga konsumsi, serta berkaitan erat dengan aspek ketahanan pangan dan perdagangan internasional. Kedua organisasi tersebut bekerja sama melalui Codex Alimentarius Commission dalam menetapkan standar, pedoman, dan kode praktik internasional yang menjadi rujukan global dalam pengelolaan keamanan pangan.

“Safe food is the assurance that food will not cause the consumer adverse health effects when it is prepared or eaten according to its intended use”.

FAO dan WHO mengembangkan standar internasional melalui Codex Alimentarius Commission sebagai pedoman global untuk menjamin keamanan dan mutu pangan serta mendukung perdagangan pangan internasional yang adil. Keamanan pangan, menurut FAO, tidak hanya berfokus pada aspek kesehatan konsumen, tetapi juga pada penguatan sistem pangan yang berkelanjutan dan harmonisasi standar internasional guna mendukung ketahanan pangan dan perdagangan global.

Keamanan pangan dalam perspektif global tidak dapat dilepaskan dari pendekatan sistemik yang memandang pangan sebagai bagian dari rantai

yang saling terhubung. *World Health Organization* (WHO) menegaskan bahwa keamanan pangan adalah jaminan bahwa pangan tidak menyebabkan bahaya bagi konsumen ketika dikonsumsi sesuai dengan tujuan penggunaannya. Definisi ini mengandung implikasi penting bahwa pengendalian bahaya tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan harus mencakup seluruh tahapan rantai pangan.

Pendekatan yang sejalan dengan prinsip tersebut adalah konsep *farm to table* (dari lahan hingga meja makan), yaitu suatu paradigma pengelolaan keamanan pangan yang menekankan pengawasan dan pengendalian bahaya sejak tahap produksi primer hingga konsumsi akhir oleh konsumen. Konsep ini berkembang sebagai respons terhadap meningkatnya kompleksitas sistem pangan global dan risiko kontaminasi yang dapat terjadi pada setiap mata rantai.

16.1.1 Keamanan Pangan sebagai Sistem Rantai Terintegrasi

Dalam kerangka WHO, keamanan pangan tidak hanya berkaitan dengan pengujian produk akhir, tetapi lebih menekankan pada pendekatan pencegahan (*preventive approach*). Hal ini berarti bahwa bahaya biologis (misalnya bakteri patogen), bahaya kimia (residu pestisida, logam berat), dan bahaya fisik harus diidentifikasi dan dikendalikan sedini mungkin dalam rantai produksi.

Pendekatan *farm to table* memperluas konsep tersebut dengan menempatkan setiap tahapan berikut sebagai titik kritis pengendalian:

1. Produksi primer (farm) – praktik budidaya yang baik (*Good Agricultural Practices/GAP*)
2. Penanganan pascapanen – sanitasi dan penyimpanan
3. Pengolahan – penerapan *Good Manufacturing Practices* (GMP) dan HACCP
4. Distribusi dan transportasi – pengendalian suhu dan higienitas
5. Ritel dan penyajian – praktik higiene pangan

6. Konsumen (table) – penyimpanan dan pengolahan yang benar di tingkat rumah tangga

16.1.2 Hubungan dengan Analisis Risiko

WHO menekankan pendekatan risk analysis, yang terdiri atas:

1. Risk assessment (penilaian risiko berbasis ilmiah)
2. Risk management (pengelolaan risiko melalui kebijakan dan standar)
3. Risk communication (komunikasi risiko kepada pemangku kepentingan).

Pendekatan farm to table menyediakan kerangka praktis untuk menerapkan analisis risiko tersebut pada setiap tahapan produksi hingga konsumsi. Dalam konteks ini, kerja sama WHO dan *Food and Agriculture Organization of the United Nations* melalui *Codex Alimentarius Commission* menghasilkan pedoman internasional seperti *General Principles of Food Hygiene* yang menjadi dasar penerapan sistem HACCP.

Konsep keamanan pangan menurut *World Health Organization* (WHO) menekankan bahwa pangan harus dijamin tidak menimbulkan bahaya bagi kesehatan apabila dikonsumsi sesuai tujuan penggunaannya. Prinsip ini bersifat universal dan berlaku untuk seluruh skala usaha pangan, baik industri besar maupun industri kecil dan rumah tangga pangan (IRTP). Dalam konteks ini, pendekatan farm to table menjadi sangat relevan karena setiap mata rantai produksi termasuk unit usaha kecil merupakan bagian integral dari sistem keamanan pangan.

Industri kecil dan rumah tangga pangan memiliki kontribusi signifikan dalam penyediaan pangan lokal, terutama di negara berkembang. Produk seperti pangan olahan tradisional, susu segar, produk fermentasi, jajanan siap saji, dan produk UMKM lainnya sering kali diproduksi dalam skala kecil dengan fasilitas dan pengendalian terbatas.

Dalam pendekatan farm to table, unit usaha kecil menempati beberapa titik krusial dalam rantai pangan, antara lain:

1. Pengolahan bahan baku primer
2. Distribusi lokal
3. Penyajian langsung kepada konsumen.

Apabila pengendalian bahaya pada tahapan ini tidak optimal, maka risiko kontaminasi biologis (misalnya *Salmonella*, *E. coli*), kimia (residu bahan tambahan berlebih), maupun fisik dapat meningkat dan berdampak langsung pada kesehatan masyarakat. Berbeda dengan industri besar yang telah menerapkan sistem manajemen mutu dan keamanan pangan secara komprehensif (misalnya HACCP berbasis Codex), industri kecil dan rumah tangga umumnya menghadapi beberapa kendala, antara lain:

1. Keterbatasan pemahaman tentang higiene dan sanitasi
2. Minimnya dokumentasi dan pencatatan produksi
3. Fasilitas produksi yang belum memenuhi standar
4. Pengawasan internal yang belum sistematis.

Dalam perspektif WHO, kondisi ini meningkatkan potensi terjadinya foodborne diseases, karena sistem pencegahan belum sepenuhnya diterapkan secara konsisten di sepanjang rantai produksi.

16.2 Karakteristik Produksi Pangan Skala Kecil

Urgensi keamanan pangan pada industri kecil dan rumah tangga menunjukkan bahwa unit usaha skala kecil merupakan mata rantai penting dalam sistem pangan nasional. Dalam perspektif World Health Organization (WHO), setiap tahapan dalam rantai pangan memiliki potensi risiko yang harus dikendalikan untuk mencegah terjadinya penyakit

bawaan pangan. Pendekatan farm to table semakin menegaskan bahwa keamanan pangan tidak berhenti pada industri besar, melainkan harus diterapkan secara menyeluruh hingga pada level produksi skala kecil dan rumah tangga.

Industri pangan skala kecil memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan industri besar, baik dari sisi struktur organisasi, kapasitas produksi, teknologi yang digunakan, maupun sistem pengendalian mutu dan keamanan pangan. Perbedaan karakteristik tersebut mempengaruhi profil risiko serta strategi pengendalian yang dapat diterapkan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik produksi pangan skala kecil menjadi prasyarat penting dalam merancang sistem keamanan pangan yang proporsional, aplikatif, dan berkelanjutan.

Secara umum, produksi pangan skala kecil dicirikan oleh penggunaan teknologi sederhana, tenaga kerja terbatas, sistem dokumentasi yang minimal, serta pengawasan proses yang masih berbasis pengalaman atau praktik turun-temurun. Kondisi ini tidak serta-merta menunjukkan rendahnya mutu produk, namun dapat meningkatkan kerentanan terhadap bahaya biologis, kimia, maupun fisik apabila prinsip higiene dan sanitasi tidak diterapkan secara konsisten.

Dalam kerangka global, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) bersama WHO melalui Codex Alimentarius Commission menekankan pentingnya penerapan prinsip Good Hygiene Practices (GHP) dan pendekatan berbasis risiko yang dapat diadaptasi sesuai skala usaha. Dengan demikian, karakteristik produksi pangan skala kecil bukanlah hambatan, melainkan dasar pertimbangan dalam merumuskan strategi intervensi yang tepat.

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) pangan merupakan entitas ekonomi yang memiliki peran strategis dalam penyediaan pangan lokal, penciptaan lapangan kerja, serta penguatan ekonomi berbasis komunitas. Dalam konteks sistem keamanan pangan, UMKM tidak hanya berfungsi sebagai pelaku produksi, tetapi juga sebagai simpul penting dalam rantai distribusi pangan yang langsung berinteraksi dengan konsumen. Oleh

karena itu, pemahaman terhadap karakteristik umum UMKM pangan menjadi dasar dalam merancang pendekatan pembinaan, pengawasan, dan penerapan sistem keamanan pangan yang adaptif.

Secara umum ciri khusus dari UMKM pangan dari aspek structural, teknis, manajerial, dan regulatif seperti: skala produksi terbatas dan fleksibel, penggunaan teknologi sederhana, sistem manajemen dan dokumentasi minimal, sumber daya manusia berbasis keluarga atau komunitas akses terbatas terhadap modal dan infrastruktur, kedekatan dengan konsumen lokal.

16.3 Tantangan Implementasi Keamanan Pangan pada Produksi Skala Kecil

Perbedaan karakteristik antara UMKM dan industri besar sebagaimana telah diuraikan sebelumnya berimplikasi langsung terhadap tantangan penerapan keamanan pangan. Dalam perspektif World Health Organization (WHO), pengendalian bahaya harus dilakukan secara preventif di setiap titik rantai pangan. Namun, pada UMKM, keterbatasan sumber daya dan sistem sering kali menyebabkan pengendalian tersebut belum optimal. Pendekatan farm to table menegaskan bahwa risiko dapat muncul sejak tahap produksi hingga distribusi akhir.

Oleh karena itu, beberapa tantangan utama pada UMKM pangan dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Higiene Personal

Higiene personal merupakan garis pertahanan pertama dalam mencegah kontaminasi biologis. Pada UMKM yang berbasis keluarga atau tenaga kerja informal, praktik seperti mencuci tangan yang benar, penggunaan pakaian kerja bersih, penutup

kepala, dan pengendalian kebiasaan tidak higienis (misalnya berbicara atau batuk di area produksi) sering kali belum diterapkan secara konsisten. Kurangnya pelatihan formal mengenai higiene pangan dapat meningkatkan risiko kontaminasi silang (cross-contamination), terutama pada produk siap konsumsi. Dalam konteks kesehatan masyarakat, kegagalan menjaga higiene personal berkontribusi signifikan terhadap kejadian foodborne diseases.

2. Sanitasi Peralatan dan Lingkungan Produksi

Peralatan produksi pada UMKM umumnya digunakan secara berulang dengan sistem pembersihan yang belum terdokumentasi dalam prosedur baku. Tantangan yang sering muncul meliputi: Tidak adanya jadwal sanitasi terstruktur, penggunaan bahan pembersih yang tidak sesuai standar, area produksi yang menyatu dengan area domestik. Kondisi ini berpotensi meningkatkan kontaminasi mikrobiologis maupun kimia. Dalam pedoman yang dikembangkan bersama oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations dan WHO melalui Codex Alimentarius Commission, sanitasi peralatan dan fasilitas merupakan prinsip dasar Good Hygiene Practices yang wajib diterapkan pada seluruh skala usaha.

3. Kontrol suhu proses dan penyimpanan

Pengendalian suhu merupakan faktor kritis dalam mencegah pertumbuhan mikroorganisme patogen. Pada UMKM, tantangan yang sering dijumpai meliputi: tidak tersedianya alat pengukur suhu yang terkalibrasi, ketidakkonsistenan waktu dan suhu pemanasan, dan penyimpanan produk tanpa kontrol suhu yang memadai. Produk seperti susu, produk bakery berisi krim, atau pangan siap saji memiliki risiko tinggi apabila tidak disimpan pada

suhu yang tepat. Dalam pendekatan berbasis risiko WHO, kontrol suhu termasuk dalam parameter kritis yang harus dimonitor secara konsisten.

4. Penyimpanan Bahan Baku

Bahan baku pada UMKM sering disimpan dalam ruang terbatas dengan pemisahan yang kurang jelas antara bahan mentah dan bahan siap olah.

Tantangan umum meliputi:

- a. Penyimpanan tanpa sistem FIFO (First In First Out)
- b. Paparan terhadap hama
- c. Kontaminasi silang antar bahan

Ketidakteraturan penyimpanan dapat meningkatkan risiko kerusakan bahan dan pertumbuhan mikroba, yang pada akhirnya berdampak pada mutu dan keamanan produk akhir.

5. Distribusi lokal dan Penanganan Produk

Distribusi produk UMKM umumnya dilakukan secara langsung ke pasar tradisional, toko kecil, atau konsumen lokal tanpa sistem rantai dingin (cold chain) yang memadai.

Tantangan yang muncul meliputi:

- a. Paparan suhu lingkungan tinggi
- b. Waktu distribusi yang tidak terkendali
- c. Kemasan yang belum optimal dalam melindungi produk

Dalam pendekatan farm to table, tahap distribusi merupakan mata rantai yang sama pentingnya dengan produksi. Produk yang telah aman pada tahap pengolahan dapat menjadi berisiko apabila penanganan distribusi tidak sesuai standar.

16.4 Sumber Bahaya pada Produksi Pangan Skala Kecil

Tantangan yang dihadapi UMKM pangan sebagaimana telah diuraikan sebelumnya pada dasarnya bermuara pada potensi munculnya berbagai sumber bahaya (hazard) dalam proses produksi. Dalam perspektif *World Health Organization* (WHO), bahaya pangan didefinisikan sebagai agen biologis, kimia, atau fisik dalam pangan yang berpotensi menimbulkan efek merugikan terhadap kesehatan. Oleh karena itu, identifikasi sumber bahaya pada produksi skala kecil menjadi langkah fundamental dalam penerapan keamanan pangan berbasis pencegahan.

Pendekatan farm to table menekankan bahwa sumber bahaya dapat muncul pada setiap tahapan rantai pangan, mulai dari penerimaan bahan baku hingga distribusi produk akhir. Pada produksi skala kecil, keterbatasan sistem pengendalian meningkatkan kemungkinan terjadinya kontaminasi apabila tidak dilakukan identifikasi dan mitigasi secara tepat.

Secara umum, sumber bahaya pada produksi pangan skala kecil dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Bahaya Biologis

Bahaya biologis merupakan risiko yang paling dominan pada produksi skala kecil, terutama akibat praktik higiene yang belum konsisten.

Sumbernya dapat berasal dari:

- a. Bahan baku yang terkontaminasi mikroorganisme patogen
- b. Higiene personal pekerja yang kurang memadai
- c. Sanitasi peralatan yang tidak optimal
- d. Kontaminasi silang antara bahan mentah dan produk siap konsumsi
- e. Penyimpanan pada suhu yang tidak terkendali

Mikroorganisme seperti *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan kapang toksigenik berpotensi berkembang apabila kondisi suhu dan kelembapan mendukung. Dalam konteks kesehatan masyarakat, bahaya biologis menjadi penyebab utama kejadian foodborne diseases.

2. Bahaya Kimia

Bahaya kimia pada UMKM pangan dapat bersumber dari:

- a. Residu pestisida pada bahan baku pertanian
- b. Penggunaan bahan tambahan pangan yang melebihi batas maksimum
- c. Kontaminasi dari bahan pembersih yang tidak dibilas sempurna
- d. Migrasi senyawa kimia dari kemasan yang tidak food grade.

Keterbatasan akses terhadap pengujian laboratorium sering kali menyebabkan bahaya kimia sulit terdeteksi secara dini. Oleh karena itu, penerapan prinsip seleksi bahan baku yang terpercaya dan penggunaan bahan sesuai regulasi menjadi sangat penting.

3. Bahaya Fisik

Bahaya fisik umumnya berasal dari:

- a. Pecahan logam dari peralatan produksi
- b. Serpihan kaca atau plastic
- c. Rambut, debu, atau benda asing lainnya.

Pada produksi skala kecil dengan peralatan sederhana, risiko kerusakan alat dan kurangnya pengawasan visual dapat meningkatkan kemungkinan kontaminasi fisik pada produk akhir.

16.5 Higiene dan Sanitasi pada Industri Pangan Skala Kecil

Produksi pangan skala kecil memiliki karakteristik operasional yang berbeda dengan industri besar, terutama dalam aspek pengendalian risiko keamanan pangan. Sebagaimana ditegaskan oleh World Health Organization (WHO), sebagian besar penyakit bawaan pangan disebabkan oleh praktik higiene dan sanitasi yang tidak memadai. Oleh karena itu, pada industri pangan skala kecil, penguatan higiene dan sanitasi merupakan fondasi utama dalam sistem pencegahan bahaya.

Higiene dalam konteks industri pangan mencakup seluruh praktik yang bertujuan menjaga kebersihan individu, proses, dan lingkungan produksi agar pangan tetap aman dikonsumsi. Pada unit usaha skala kecil, interaksi langsung antara pekerja dan produk relatif tinggi karena sebagian besar proses masih dilakukan secara manual atau semi-manual. Kondisi ini meningkatkan potensi kontaminasi silang apabila higiene personal tidak diterapkan secara konsisten. Praktik dasar seperti mencuci tangan dengan prosedur yang benar, menggunakan pakaian kerja bersih, menutup rambut, serta membatasi aktivitas yang berpotensi mencemari pangan merupakan langkah preventif yang memiliki dampak signifikan terhadap penurunan risiko biologis.

Selain higiene personal, sanitasi fasilitas dan peralatan produksi menjadi komponen penting dalam mencegah kontaminasi. Sanitasi tidak hanya mencakup kegiatan pembersihan, tetapi juga desinfeksi yang bertujuan mengurangi jumlah mikroorganisme hingga tingkat yang aman. Pada industri skala kecil, keterbatasan fasilitas sering kali menyebabkan proses sanitasi belum dilakukan secara sistematis.

Area produksi yang menyatu dengan lingkungan domestik, penggunaan peralatan secara berulang tanpa prosedur pembersihan tertulis, serta tidak adanya jadwal sanitasi terstruktur dapat meningkatkan risiko kontaminasi biologis maupun fisik. Dalam pedoman internasional yang dikembangkan

oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations bersama WHO melalui Codex Alimentarius Commission, higiene dan sanitasi merupakan bagian dari Good Hygiene Practices yang menjadi prasyarat dalam sistem manajemen keamanan pangan.

Hubungan antara higiene, sanitasi, dan sumber bahaya sangat erat. Higiene personal yang buruk berpotensi membawa mikroorganisme patogen ke dalam produk, sementara sanitasi peralatan yang tidak memadai dapat memicu terjadinya kontaminasi silang. Di sisi lain, penggunaan bahan kimia pembersih yang tidak tepat atau tidak dibilas secara menyeluruh dapat menimbulkan bahaya kimia. Dengan demikian, kegagalan dalam menjaga higiene dan sanitasi tidak hanya meningkatkan risiko biologis, tetapi juga risiko kimia dan fisik. Dalam pendekatan farm to table, higiene dan sanitasi pada industri skala kecil merupakan titik awal pengendalian bahaya sebelum penerapan sistem yang lebih kompleks seperti HACCP.

Mengingat keterbatasan sumber daya yang dimiliki UMKM, implementasi higiene dan sanitasi perlu dirancang secara sederhana, praktis, dan berbasis risiko dominan. Penyusunan prosedur pembersihan yang mudah dipahami, penetapan jadwal sanitasi rutin, serta edukasi berkelanjutan kepada pekerja menjadi strategi yang realistis dan efektif. Dengan demikian, higiene dan sanitasi bukan sekadar kewajiban teknis, melainkan instrumen strategis dalam membangun budaya keamanan pangan pada industri skala kecil. Penerapan yang konsisten dan berkelanjutan akan memperkuat perlindungan kesehatan konsumen sekaligus meningkatkan kredibilitas dan daya saing UMKM pangan dalam sistem pangan nasional.

16.6 Standar Higiene Personal pada Industri Pangan Skala Kecil

Higiene personal merupakan elemen paling mendasar dalam sistem keamanan pangan, terutama pada industri skala kecil yang masih mengandalkan tenaga kerja manual. Dalam perspektif World Health

Organization (WHO), praktik higiene personal yang buruk merupakan salah satu faktor utama penyebab penyakit bawaan pangan. Oleh karena itu, pengendalian risiko biologis pada UMKM pangan harus dimulai dari individu yang terlibat langsung dalam proses produksi.

Standar higiene personal mencakup kondisi kesehatan pekerja, kebersihan tubuh, kebiasaan kerja, serta penggunaan atribut pelindung. Pekerja yang sedang mengalami penyakit infeksi, terutama yang berkaitan dengan saluran pencernaan atau infeksi kulit terbuka, seharusnya tidak diperkenankan menangani pangan secara langsung. Kebijakan sederhana seperti pelaporan kondisi kesehatan dan pembatasan akses kerja ketika sakit dapat menurunkan risiko kontaminasi secara signifikan.

Selain itu, kebersihan tangan merupakan aspek paling kritis dalam higiene personal. Prosedur pencucian tangan yang benar menggunakan air bersih mengalir dan sabun, dilakukan sebelum memulai produksi, setelah dari toilet, setelah menangani bahan mentah, atau setelah kontak dengan benda kotor harus menjadi kebiasaan standar. Pada industri skala kecil, penyediaan fasilitas cuci tangan yang memadai merupakan investasi sederhana dengan dampak besar terhadap keamanan produk.

Penggunaan pakaian kerja bersih, celemek, penutup kepala, serta larangan penggunaan perhiasan saat produksi juga merupakan bagian dari standar higiene personal. Meskipun terlihat sederhana, konsistensi penerapan praktik ini berperan penting dalam mencegah kontaminasi fisik dan biologis. Dengan demikian, standar higiene personal pada industri skala kecil harus dirancang dalam bentuk aturan tertulis yang sederhana, mudah dipahami, dan diterapkan secara konsisten sebagai bagian dari budaya kerja.

16.7 Prosedur Sanitasi Standar (SSOP) untuk Produksi Skala Kecil

Setelah higiene personal, aspek berikutnya yang menjadi fondasi keamanan pangan adalah sanitasi fasilitas dan peralatan. Dalam pedoman internasional yang dikembangkan oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations bersama WHO melalui Codex Alimentarius Commission, sanitasi termasuk dalam program prasyarat (prerequisite programs) sebelum penerapan sistem HACCP.

Pada industri skala kecil, Prosedur Sanitasi Standar (Sanitation Standard Operating Procedures/SSOP) tidak harus kompleks, tetapi harus mencakup unsur-unsur pokok berikut:

1. Pembersihan peralatan sebelum dan sesudah produksi, termasuk pembongkaran bagian alat yang kontak langsung dengan pangan.
2. Penggunaan bahan pembersih dan desinfektan yang sesuai standar pangan, dengan takaran dan waktu kontak yang tepat.
3. Penyediaan air bersih yang memenuhi persyaratan kualitas.
4. Pengelolaan limbah produksi agar tidak menjadi sumber kontaminasi ulang.
5. Pengendalian hama di area produksi dan penyimpanan.

SSOP pada UMKM sebaiknya disusun dalam bentuk langkah-langkah praktis yang terdokumentasi sederhana, misalnya dalam bentuk tabel jadwal sanitasi harian dan mingguan. Dokumentasi ini tidak hanya membantu konsistensi pelaksanaan, tetapi juga menjadi bukti kepatuhan terhadap prinsip keamanan pangan.

Sistem manajemen keamanan pangan, higiene dan sanitasi merupakan program prasyarat sebelum penerapan Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP). Tanpa pelaksanaan higiene dan sanitasi yang konsisten, penerapan HACCP tidak akan efektif karena sumber bahaya dasar belum

terkendali. Pada industri skala kecil, integrasi ini dapat dilakukan secara bertahap. Tahap awal difokuskan pada penguatan higiene personal dan sanitasi fasilitas.

Setelah praktik dasar berjalan stabil, pelaku usaha dapat mulai mengidentifikasi titik proses yang berisiko tinggi, seperti tahap pemanasan atau penyimpanan, untuk kemudian menetapkan pengendalian sederhana berbasis prinsip HACCP. Pendekatan bertahap ini sejalan dengan konsep farm to table, di mana pengendalian risiko dilakukan sejak tahap paling dasar. Dengan demikian, higiene dan sanitasi bukan sekadar kewajiban operasional, melainkan landasan sistemik dalam membangun keamanan pangan yang berkelanjutan pada industri skala kecil.

16.8 Regulasi dan Sertifikasi untuk Industri Pangan Skala Kecil

Penerapan higiene dan sanitasi pada industri pangan skala kecil tidak hanya merupakan kebutuhan teknis dalam sistem keamanan pangan, tetapi juga bagian dari kepatuhan terhadap regulasi nasional. Dalam kerangka perlindungan kesehatan masyarakat sebagaimana ditegaskan oleh World Health Organization (WHO), pemerintah memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa pangan yang beredar aman dikonsumsi. Prinsip ini kemudian diterjemahkan dalam berbagai regulasi dan mekanisme sertifikasi di tingkat nasional, termasuk di Indonesia.

Industri pangan skala kecil di Indonesia umumnya dikategorikan sebagai Industri Rumah Tangga Pangan (IRTP). Regulasi utama yang mengatur IRTP menekankan penerapan Cara Produksi Pangan yang Baik untuk Industri Rumah Tangga (CPPB-IRT), yang disusun sebagai bentuk adaptasi prinsip Good Hygiene Practices dan Good Manufacturing Practices pada skala usaha kecil. Pedoman ini berada dalam pengawasan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) serta dilaksanakan melalui pembinaan oleh pemerintah daerah.

CPPB-IRT mencakup aspek-aspek mendasar seperti:

1. Persyaratan lokasi dan lingkungan produksi
2. Bangunan dan fasilitas
3. Peralatan produksi
4. Penyediaan air bersih
5. Higiene dan sanitasi karyawan
6. Pengendalian proses produksi
7. Penyimpanan dan distribusi
8. Pelabelan pangan.

Dengan demikian, CPPB-IRT merupakan bentuk operasionalisasi prinsip keamanan pangan global yang disesuaikan dengan kapasitas UMKM. Selain pemenuhan CPPB-IRT, industri kecil juga diwajibkan memiliki izin edar berupa Sertifikat Produksi Pangan Industri Rumah Tangga (SPP-IRT) untuk produk tertentu. Sertifikasi ini menunjukkan bahwa unit usaha telah memenuhi persyaratan dasar keamanan pangan dan diperbolehkan memasarkan produknya secara legal. Dalam perkembangan regulasi nasional, sistem perizinan berusaha telah terintegrasi melalui Online Single Submission (OSS), yang mempermudah pelaku UMKM dalam mengurus legalitas usaha. Integrasi ini bertujuan meningkatkan formalitas usaha sekaligus memperkuat pengawasan keamanan pangan secara sistematis.

Bagi UMKM yang ingin meningkatkan daya saing dan memperluas pasar, sertifikasi tambahan seperti halal, sertifikasi BPOM untuk pangan olahan risiko lebih tinggi, maupun penerapan HACCP secara sukarela dapat menjadi langkah strategis. Meskipun tidak seluruh UMKM diwajibkan menerapkan HACCP secara penuh, prinsip analisis bahaya tetap dianjurkan sebagai pendekatan preventif. Regulasi dan sertifikasi bukan semata instrumen administratif, melainkan mekanisme perlindungan konsumen dan peningkatan mutu usaha. Dalam pendekatan farm to table, regulasi memastikan bahwa setiap mata rantai produksi, termasuk industri kecil, berada dalam sistem pengawasan berbasis risiko.

Integrasi higiene, sanitasi, dan sistem prasyarat HACCP pada industri skala kecil tidak dapat dilepaskan dari kerangka regulasi dan sertifikasi nasional. Regulasi berfungsi sebagai standar minimum yang menjamin bahwa seluruh pelaku usaha pangan, termasuk UMKM, berkontribusi dalam perlindungan kesehatan masyarakat. Dengan pendekatan yang proporsional dan berbasis risiko, regulasi di Indonesia telah mengadaptasi prinsip internasional ke dalam sistem yang lebih aplikatif bagi industri kecil. Hal ini menunjukkan bahwa keamanan pangan bukan hanya tanggung jawab individu pelaku usaha, tetapi juga bagian dari sistem tata kelola pangan nasional yang terintegrasi.

Bab 17

Perancangan Produk Pangan Sehat Berbasis Lokal

17.1 Pendahuluan

Merancang produk makanan sehat berbasis lokal memainkan peran penting dalam menumbuhkan sistem pangan berkelanjutan dengan menangani berbagai dimensi yang saling terkait. Selain memastikan kandungan gizi yang seimbang, produk-produk ini menekankan keamanan, kualitas, dan keberlanjutan, selaras dengan pengelolaan lingkungan dan harapan konsumen. Dengan mencari bahan secara lokal, produk tersebut mendukung ekonomi regional, mengurangi jejak karbon terkait transportasi, dan mendorong keanekaragaman hayati pertanian.

Pendekatan lokal ini juga memperkuat ikatan komunitas dan melestarikan tradisi makanan sosial-budaya, yang meningkatkan kepercayaan dan penerimaan konsumen. Selain itu, mengintegrasikan preferensi konsumen ke dalam pengembangan produk memastikan bahwa penawaran makanan

sehat tidak hanya bergizi tetapi juga relevan dan menarik secara budaya, meningkatkan adopsi dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat (FAO & WHO, 2023; FAO, 2019).

Fokus pada keberlanjutan mencakup penggunaan sumber daya yang bertanggung jawab, pengurangan limbah, dan minimisasi degradasi lingkungan, sehingga berkontribusi pada ketahanan pangan jangka panjang. Dengan demikian, produk makanan sehat berbasis lokal berfungsi sebagai nexus strategis di mana nutrisi, vitalitas ekonomi, identitas budaya, dan tanggung jawab lingkungan menyatu untuk mempromosikan keberlanjutan holistik dalam sistem pangan (Kovács et al., 2022).

Pemanfaatan sumber daya lokal Indonesia seperti umbi-umbian, sereal lokal seperti sorgum dan jagung, kacang-kacangan, produk perikanan, dan tanaman pangan fungsional menghadirkan peluang yang signifikan untuk mengembangkan produk bernilai tambah tinggi. Sumber daya ini tidak hanya berlimpah dan beragam, tetapi juga penting secara budaya dan nutrisi, menawarkan fondasi yang berkelanjutan untuk meningkatkan inovasi pangan.

Dengan memanfaatkan bahan-bahan asli ini, industri makanan dapat menciptakan produk yang melayani pasar domestik dan internasional, mempromosikan pertumbuhan ekonomi sekaligus melestarikan warisan pangan tradisional. Pendekatan ini mendukung petani dan masyarakat lokal dengan meningkatkan permintaan akan tanaman dan perikanan asli, sehingga berkontribusi pada pembangunan pedesaan dan pengentasan kemiskinan (Leckel et al., 2020).

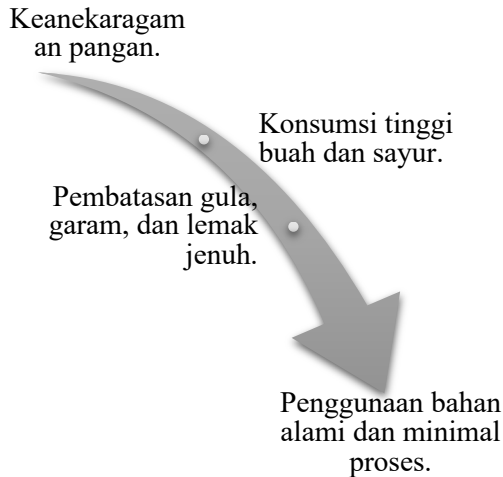
Selain itu, perkembangan ini sejalan erat dengan prioritas nasional Indonesia, yaitu diversifikasi pangan dan ketahanan pangan. Diversifikasi sumber pangan mengurangi ketergantungan pada tanaman pokok seperti beras, mengurangi risiko yang terkait dengan gagal panen dan volatilitas harga. Memperkuat ketahanan pangan nasional melalui promosi pangan lokal alternatif meningkatkan ketahanan terhadap gangguan rantai pasokan global dan dampak perubahan iklim.

Dengan mengintegrasikan sumber daya lokal ini ke dalam sistem pangan modern, Indonesia dapat membangun ekonomi pangan yang lebih kuat dan mandiri yang memastikan ketahanan gizi dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan (Menteri Pertanian, 2021).

17.2 Konsep Pangan Sehat

Pangan sehat mencakup lebih dari sekadar keberadaan nutrisi penting ini, melibatkan komposisi karbohidrat, protein, lemak, vitamin, dan mineral yang seimbang yang secara kolektif mendukung fungsi fisiologis tubuh dan kesejahteraan secara keseluruhan. Mengonsumsi nutrisi ini dalam proporsi yang sesuai memastikan bahwa tubuh menerima energi yang cukup, mendukung pertumbuhan dan perbaikan, dan menjaga keseimbangan metabolisme. Selain itu, makanan sehat harus bebas dari kontaminan berbahaya seperti patogen, racun, dan residu kimia yang dapat membahayakan keamanan pangan dan menimbulkan risiko kesehatan (Lee et al., 2026).

Konsep makanan sehat juga mengintegrasikan kualitas makanan, yang meliputi kesegaran, rasa, tekstur, dan integritas nutrisi. Makanan berkualitas tinggi menjaga bioavailabilitas nutrisi dan meningkatkan pencernaan dan penyerapan yang lebih baik (Lee et al., 2026). Selain itu, makan sehat melibatkan konsumsi makanan dalam jumlah yang memenuhi tetapi tidak melebihi kebutuhan tubuh, mencegah kekurangan gizi serta kondisi terkait gizi berlebihan seperti obesitas dan penyakit kronis. Dengan demikian, makanan sehat adalah konsep holistik yang menggabungkan keseimbangan nutrisi, keamanan, kualitas, dan konsumsi yang tepat untuk mengoptimalkan hasil kesehatan. Menurut pola makan sehat (healthy diets) mencakup:



Gambar 17.1: Healthy Diets (FAO & WHO, 2023)

17.3 Konsep Sumber Daya Lokal dalam Pengembangan Produk

Konsep sumber daya lokal dalam kemajuan makanan bergizi berkaitan dengan pemanfaatan bahan baku, keahlian, teknologi, dan kualitas sosial budaya yang berasal dari tempat tertentu untuk meningkatkan nilai produk. Dalam konteks pembangunan daerah, sumber daya lokal dianggap tidak hanya sebagai komoditas fisik, tetapi sebagai komponen sistem ekonomi teritorial yang mewujudkan interaksi antara elemen alam, manusia, kelembagaan, dan pasar (FAO, 2008). Pendekatan ini sejalan dengan konsep pengembangan berbasis sumber daya lokal, menyoroti bahwa keunggulan kompetitif suatu produk sering muncul dari karakteristik lokal unik yang tidak mudah diduplikasi oleh lokasi lain.

Berdasarkan perspektif agronomi, sumber daya lokal mencakup pangan yang diproduksi dan dibudidayakan selaras dengan kondisi agroekologi regional. Indonesia, sebagai negara tropis, memiliki keanekaragaman hayati

yang signifikan, yang berfungsi sebagai aset penting untuk diversifikasi pangan, termasuk sorgum, sagu, jagung asli, talas, singkong, kacang-kacangan, rempah-rempah, serta produk perikanan dan rumput laut. Keanekaragaman ini menawarkan potensi untuk menciptakan produk makanan bergizi yang tidak hanya sangat bermanfaat tetapi juga tahan terhadap perubahan iklim, karena berasal dari komoditas yang telah lama menyesuaikan diri dengan lingkungan setempat. Penggunaan keanekaragaman hayati pangan lokal meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan sistem pangan (Borelli et al., 2024; Fiza et al., 2025; Vikas & Ranjan, 2024).

Dari sudut pandang ekonomi, memanfaatkan sumber daya lokal dalam pembuatan makanan sehat dapat merampingkan rantai pasokan, akibatnya mengurangi biaya distribusi, meningkatkan efisiensi logistik, dan menambah proporsi nilai tambah yang diperoleh oleh produsen lokal. Rantai pasokan ringkas meningkatkan transparansi dan ketertelusuran produk, yang semakin penting di pasar makanan kesehatan kontemporer. Pendekatan berbasis lokal meningkatkan perekonomian daerah dengan menciptakan lapangan kerja, mendorong pengembangan UMKM pangan, dan memperkuat kluster agroindustri (Cvijanović et al., 2020; Tanasa, 2024).

Dari sudut pandang sosial-budaya, sumber daya lokal mencakup nilai-nilai tradisional, pengetahuan adat, dan preferensi konsumsi masyarakat. Produk makanan tradisional sering menggunakan metode pemrosesan unik yang diwariskan dari generasi ke generasi, termasuk fermentasi, pengeringan alami, dan penggabungan bahan herbal tertentu. Keahlian regional ini merupakan keunggulan penting dalam inovasi produk makanan bergizi, khususnya dalam pembuatan makanan fungsional berbasis tradisi (Deddy Ray Girsang, 2025; Rosidin et al., 2021).

Namun demikian, pemanfaatan sumber daya lokal dalam pengembangan produk pangan sehat juga menghadapi tantangan, seperti keterbatasan standar mutu bahan baku, fluktuasi produksi musiman, dan rendahnya kapasitas teknologi pengolahan di tingkat lokal. Oleh karena itu, diperlukan integrasi antara inovasi teknologi pangan, penguatan kelembagaan petani

atau produsen, serta dukungan kebijakan pemerintah dalam bentuk fasilitasi standardisasi, sertifikasi, dan akses pasar.

Dengan demikian, konsep sumber daya lokal dalam pengembangan produk pangan sehat bukan sekadar strategi substitusi bahan baku impor, melainkan pendekatan komprehensif yang mengintegrasikan potensi agroekologi, nilai budaya, efisiensi ekonomi, dan keberlanjutan lingkungan. Pendekatan ini menjadi fondasi penting dalam menciptakan produk pangan sehat yang kompetitif, berkelanjutan, serta berkontribusi terhadap ketahanan pangan dan pembangunan wilayah.

17.4 Tahapan Perancangan Produk Pangan Berbasis Lokal

17.4.1 Identifikasi Kebutuhan dan Tren Konsumen

Tahap identifikasi kebutuhan dan tren konsumen merupakan fondasi dalam perancangan produk pangan sehat berbasis lokal. Dalam pendekatan pengembangan produk modern, keberhasilan inovasi sangat ditentukan oleh kemampuan produsen memahami kebutuhan eksplisit maupun implisit konsumen (stated and latent needs) (Ulrich, 2016).

Tahap awal adalah analisis kebutuhan konsumen, termasuk preferensi rasa, kesadaran kesehatan, dan daya beli. Tren global menunjukkan peningkatan permintaan untuk produk rendah gula, tinggi serat, nabati, dan alami. Konsumen saat ini semakin selektif, mencari produk yang tidak hanya memenuhi harapan sensorik mereka tetapi juga selaras dengan pilihan gaya hidup dan tujuan kesehatan mereka. Ini memerlukan pemahaman mendalam tentang profil demografis dan psikografis untuk menyesuaikan produk yang beresonansi dengan beragam segmen konsumen.

Secara umum, kebutuhan konsumen terhadap pangan sehat dipengaruhi oleh tiga dimensi utama, yaitu preferensi sensorik, kesadaran kesehatan,

dan daya beli. Preferensi sensorik tetap menjadi faktor dominan dalam penerimaan produk pangan; meskipun suatu produk diklaim sehat, konsumen cenderung tidak akan melakukan pembelian ulang jika atribut rasa dan teksturnya tidak memuaskan (Harry T. Lawless, 2024). Oleh karena itu, pengembangan produk harus menyeimbangkan antara perbaikan profil gizi dan kualitas organoleptik.

Tren pasar global saat ini menekankan preferensi yang berkembang untuk produk yang rendah gula, kaya serat, makanan nabati, dan terdiri dari bahan-bahan alami. Pergeseran ini mencerminkan kesadaran yang meningkat tentang dampak kesehatan dari diet dan keinginan akan makanan yang berkelanjutan dan diproduksi secara etis. Oleh karena itu, produsen dan pemasar harus memprioritaskan atribut ini untuk memenuhi permintaan konsumen yang terus berkembang, memastikan bahwa pengembangan produk, pelabelan, dan strategi pemasaran secara efektif mengkomunikasikan manfaat ini untuk menangkap dan mempertahankan minat konsumen.

Selain faktor kesehatan, perubahan tren konsumsi juga dipengaruhi oleh faktor demografis dan psikografis. Secara demografis, kelompok usia muda (generasi milenial dan Gen Z) cenderung lebih terbuka terhadap inovasi produk sehat dan lebih peduli terhadap isu lingkungan dibandingkan dengan generasi sebelumnya (Feldmann & Hamm, 2015). Sementara itu, secara psikografis, konsumen dengan tingkat health involvement tinggi menunjukkan kecenderungan lebih besar untuk membaca label gizi, membandingkan komposisi produk, dan bersedia membayar harga premium untuk produk sehat (Grunert & Wills, 2007).

Daya beli juga menjadi variabel penting dalam identifikasi kebutuhan konsumen. Meskipun minat terhadap pangan sehat meningkat, harga tetap menjadi pertimbangan utama dalam keputusan pembelian, terutama di negara berkembang (FAO, 2019). Oleh karena itu, pengembangan produk pangan sehat berbasis lokal harus mempertimbangkan efisiensi biaya produksi agar harga tetap kompetitif tanpa mengorbankan kualitas.

Pemanfaatan bahan baku lokal dapat menjadi strategi untuk menekan biaya sekaligus memperkuat nilai diferensiasi produk.

Dengan demikian, identifikasi kebutuhan dan tren konsumen bukan sekadar tahap awal administratif dalam pengembangan produk, melainkan proses strategis yang menentukan arah inovasi. Pemahaman mendalam terhadap preferensi sensorik, kesadaran kesehatan, segmentasi demografis dan psikografis, serta dinamika daya beli akan memastikan bahwa produk pangan sehat berbasis lokal tidak hanya unggul secara nutrisi, tetapi juga relevan, kompetitif, dan berkelanjutan di pasar.

17.4.2 Formulasi Produk

Proses formulasi berupaya menciptakan produk yang menyelaraskan beberapa faktor penting: rasa, tekstur, nilai gizi, dan umur simpan, memastikan pengalaman konsumen yang optimal sekaligus menjaga stabilitas produk. Mencapai keseimbangan ini melibatkan pemilihan bahan dan metode pengolahan yang saling melengkapi, meningkatkan profil rasa di mulut tanpa mengorbankan manfaat nutrisi.

Selain itu, formulasi harus mempertimbangkan bagaimana komponen-komponen ini berinteraksi dari waktu ke waktu, menjaga kualitas dan keamanan selama umur simpan produk yang dimaksudkan. Untuk mengidentifikasi komposisi yang ideal, pendekatan eksperimental biasanya digunakan, yang melibatkan pengujian dan iterasi sistematis.

Eksperimen ini menilai bagaimana variasi jenis bahan, konsentrasi, dan kondisi pemrosesan memengaruhi atribut sensorik dan kandungan nutrisi, serta ketahanan produk terhadap pembusukan atau degradasi. Dengan menganalisis hasil ini, perumus dapat menyempurnakan resep untuk memenuhi spesifikasi target, memastikan produk akhir memberikan rasa dan tekstur yang konsisten sekaligus memenuhi standar nutrisi dan mempertahankan umur simpan yang dapat diterima.

Formulasi produk makanan sering kali melibatkan penggantian bahan tradisional dengan komponen alternatif untuk meningkatkan nilai gizi, sifat fungsional, atau keberlanjutan. Misalnya, mengganti tepung terigu dengan

tepung sorgum pada tingkat mulai dari 30% hingga 50% dapat meningkatkan kandungan serat makanan dan memberikan pilihan bebas gluten yang cocok untuk individu dengan intoleransi gluten.

Tepung sorgum juga menyumbang fitokimia dan antioksidan yang bermanfaat, yang dapat meningkatkan profil kesehatan produk akhir sambil mempertahankan kualitas sensorik yang dapat diterima. Contoh penting lainnya adalah penggabungan rumput laut ke dalam produk makanan sebagai sumber serat makanan, mineral, dan senyawa bioaktif. Penambahan rumput laut memperkaya formulasi dengan nutrisi penting seperti yodium, kalsium, dan vitamin, sekaligus menawarkan manfaat fungsional seperti peningkatan retensi air dan modifikasi tekstur.

Substitusi ini tidak hanya mendiversifikasi sumber bahan, tetapi juga menanggapi permintaan konsumen akan pilihan makanan yang lebih sehat dan lebih berkelanjutan, sehingga memperluas aplikasi potensial dan daya jual produk.

Tabel 17.1: Contoh Penerapan Desain Produk

Uraian Singkat	Contoh Penerapan
Menetapkan spesifikasi teknis produk dan batas variasi mutu yang masih dapat diterima agar kualitas produk konsisten.	Pemilihan bahan baku unggul dan kemasan aluminium foil untuk menjaga aroma dan cita rasa produk lokal yang sehat.
Mendesain tampilan produk agar menarik dan mudah dikenali. Mencakup warna, bentuk, label, logo, dan kemasan.	Kadar air beras maksimal 14%, kadar broken < 5%, atau kadar karaginan minimum 30% pada produk lokal yang dikeringkan.
Mengukur sejauh mana produk berfungsi sesuai kebutuhan pengguna. Standar kinerja dapat mencakup daya tahan, efisiensi, keamanan, dan performa.	Tepung jagung yang harus sehalus mungkin untuk penggunaan yang maksimal dalam membuat produk lokal yang sehat

Menentukan bahan utama dan pendukung yang akan digunakan untuk menjamin mutu, efisiensi biaya, dan keberlanjutan lingkungan. Pemilihan bahan harus mempertimbangkan ketersediaan, biaya, dan daya tahan.	Kemasan produk menggunakan desain etnik lokal, warna alami, serta label “original” untuk menarik konsumen premium.

17.4.3 Desain Kemasan dan Label

Desain kemasan (packaging design) merupakan salah satu elemen strategis dalam perancangan produk pangan sehat berbasis lokal karena berfungsi tidak hanya sebagai wadah, tetapi juga sebagai sistem perlindungan, komunikasi, dan diferensiasi produk di pasar. Secara teknis, kemasan berperan sebagai penghalang (barrier) yang melindungi produk dari kerusakan fisik, kontaminasi mikrobiologis, serta pengaruh faktor lingkungan seperti oksigen, kelembapan, cahaya, dan fluktuasi suhu (Robertson, 2012). Dalam sistem rantai pasok pangan, kemasan menjadi bagian integral dari upaya menjaga keamanan dan mutu produk sejak proses produksi, distribusi, hingga konsumsi akhir.

Dengan menjaga kualitas dan kesegaran produk, kemasan membantu memperpanjang umur simpan barang, mengurangi limbah dan memastikan konsumen menerima produk dalam kondisi optimal. Selain itu, desain kemasan yang efektif meningkatkan daya tarik konsumen dengan memberikan presentasi yang menarik dan informatif yang dapat memengaruhi keputusan pembelian. Label pada kemasan melayani beberapa fungsi penting di luar estetika.

Kemasan yang dirancang secara efisien dapat meningkatkan kemudahan penyimpanan, transportasi, dan distribusi produk. Desain struktural yang baik memungkinkan efisiensi ruang dan pengurangan biaya logistik (Robertson, 2012). Dalam konteks produk pangan sehat berbasis lokal, pemilihan bahan kemasan juga perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan lingkungan, seperti penggunaan bahan biodegradable atau

dapat didaur ulang, sejalan dengan tren sustainable packaging yang semakin berkembang (FAO, 2018).

Label harus menampilkan informasi nutrisi dengan jelas untuk memberi tahu konsumen tentang kandungan dan implikasi kesehatan dari produk tersebut. Selain itu, label menyertakan detail tentang komposisi, memungkinkan konsumen untuk mengidentifikasi bahan dan alergen potensial. Tanggal kedaluwarsa atau batas konsumsi (best before atau use by date) merupakan elemen krusial dalam menjamin keamanan produk.

Informasi ini memberikan panduan kepada konsumen mengenai periode optimal konsumsi dan membantu mencegah risiko kesehatan akibat konsumsi produk yang telah mengalami penurunan mutu (Jensen et al., 2019). Selain itu, pencantuman kode produksi atau nomor batch mendukung sistem ketertelusuran (traceability) apabila terjadi penarikan produk (recall).

Dalam konteks regulasi, label juga harus memuat informasi izin edar dan kepatuhan terhadap standar hukum yang berlaku, seperti nomor registrasi dari otoritas pengawas pangan, sertifikasi halal, serta standar mutu tertentu (BPOM, 2022). Melalui label juga menunjukkan izin distribusi dan informasi kepatuhan terhadap peraturan, memastikan bahwa produk memenuhi standar hukum untuk penjualan dan transportasi, menumbuhkan kepercayaan konsumen dan memfasilitasi akses pasar.

Kepatuhan terhadap regulasi tidak hanya menjadi syarat legal distribusi dan transportasi, tetapi juga membangun kredibilitas dan kepercayaan konsumen (FAO & WHO, 2023). Menegaskan bahwa pelabelan yang benar dan tidak menyesatkan merupakan bagian dari perlindungan konsumen dalam perdagangan pangan internasional.

Dengan demikian, desain kemasan dan label dalam produk pangan sehat berbasis lokal harus dipandang sebagai sistem terpadu yang mencakup perlindungan mutu, efisiensi logistik, komunikasi nilai gizi, diferensiasi pasar, dan kepatuhan regulasi. Pendekatan yang komprehensif terhadap aspek ini tidak hanya meningkatkan daya saing produk, tetapi juga

memastikan keamanan, transparansi, dan keberlanjutan dalam sistem pangan modern.

17.5 Aspek Keamanan dan Regulasi

Produk makanan sehat harus mematuhi prinsip Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) untuk memastikan keamanannya selama proses produksi. HACCP adalah pendekatan pencegahan sistematis yang mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan bahaya yang dapat menimbulkan risiko terhadap keamanan pangan, termasuk bahaya biologis, kimia, dan fisik.

Dengan menerapkan HACCP, produsen dapat secara proaktif mengatasi potensi titik kontaminasi, sehingga meminimalkan kemungkinan penyakit bawaan makanan dan memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar peraturan dan harapan konsumen akan keamanan (Liu et al., 2021).

Penerapan prinsip-prinsip HACCP melibatkan langkah-langkah penting seperti melakukan analisis bahaya menyeluruh, menentukan titik kontrol kritis (CCP) di mana bahaya dapat dicegah atau dikurangi, menetapkan batas kritis untuk setiap CCP, dan menetapkan prosedur pemantauan untuk memastikan batas ini dipertahankan (Liu et al., 2021). Selain itu, tindakan korektif harus ditentukan sebelumnya jika terjadi penyimpangan, di samping proses verifikasi dan dokumentasi untuk mengonfirmasi efektivitas sistem. Untuk produk makanan sehat, yang sering menargetkan konsumen yang sadar kesehatan, kepatuhan ketat terhadap HACCP tidak hanya melindungi kesehatan masyarakat tetapi juga meningkatkan kredibilitas produk dan mendukung kepatuhan terhadap peraturan dalam lanskap keamanan pangan yang semakin ketat.

Bab 18

Pengujian Mutu Dasar dan Penerimaan Konsumen

18.1 Pendahuluan

18.1.1 Mengapa Mutu Dasar dan Penerimaan Konsumen Menentukan Keberhasilan Inovasi

Inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal bukan hanya soal membuat produk yang “baru dan unik”. Yang lebih penting adalah memastikan produk itu benar-benar lebih sehat, aman dikonsumsi, kualitasnya stabil, dan pada akhirnya disukai serta dibeli konsumen. Karena itu, pengujian mutu dasar dan uji penerimaan konsumen menjadi langkah kunci sebelum produk diproduksi lebih luas atau dipasarkan.

Di lapangan, banyak produk inovatif gagal bukan karena idenya kurang bagus. Masalahnya sering muncul saat produk mulai dibuat berulang kali atau disimpan beberapa waktu. Bahan lokal misalnya umbi, sereal, atau kacang-kacangan.

rempah, atau kacang-kacangan sering memiliki kualitas yang berbeda antar musim atau antar pemasok. Akibatnya, rasa, warna, atau tekstur produk bisa berubah dari satu batch ke batch berikutnya. Konsumen biasanya cepat menyadari ketidakkonsistenan ini dan akhirnya kehilangan kepercayaan.

Tantangan lain muncul saat produk disimpan. Beberapa snack cepat melempem, warna menjadi kusam, atau aroma berubah. Ini biasanya terkait dengan kadar air, proses pengolahan, dan kualitas kemasan. Selain itu, upaya membuat produk lebih sehat seperti mengurangi gula atau garam kadang membuat rasa menjadi “kurang nendang”. Padahal, konsumen tetap menginginkan produk yang enak (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Terakhir, faktor kepercayaan juga sangat menentukan. Jika label klaim sehat tidak jelas, kemasan terlihat kurang meyakinkan, atau citra produk belum kuat, konsumen cenderung ragu untuk mencoba apalagi membeli ulang. Itulah sebabnya, pengujian mutu dan uji konsumen bukan sekadar formalitas, melainkan penentu apakah inovasi benar-benar siap diterima pasar.

Secara garis besar, alur inovasi produk pangan agar bermutu dan bisa diterima pasar dapat dilihat pada Gambar 18.1. Prosesnya dimulai dari Bahan Lokal. Di tahap ini tantangan terbesar adalah variasi kualitas (musiman, pemasok, cara pascapanen). Karena itu, bahan lokal perlu distandarisasi supaya hasil produk tidak berubah-ubah.

Selanjutnya masuk ke Formulasi & Proses, yaitu tahap “dapur inovasi”: menentukan komposisi, teknik pengolahan, dan parameter proses agar produk punya karakter yang diinginkan (misalnya lebih sehat, lebih stabil, dan tetap enak).

Tahap berikutnya adalah Mutu Dasar (Fisik–Kimia–Mikro). Di sini klaim “sehat” tidak boleh hanya asumsi, tetapi harus terukur lewat data laboratorium. Produk juga harus memenuhi aspek keamanan dan konsistensi mutu sebelum dilanjutkan (ICMSF, 2011).

Setelah itu dilakukan Uji Sensori, untuk melihat bagaimana rasa, aroma, warna, dan tekstur diterima secara inderawi. Hasilnya kemudian diperkuat pada tahap Penerimaan Konsumen, yaitu menilai apakah produk benar-benar disukai dan berpotensi dibeli. Akhirnya, semua data dari tahap-tahap tadi dipakai untuk Keputusan: apakah produk perlu diperbaiki lagi atau sudah siap skala besar (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).



Gambar 18.1: Alur pengujian mutu dasar dari produk pangan untuk kesiapan komersialisasi

18.1.2 Menentukan Makna "Sehat" dan "Lokal" Agar Uji yang Dipilih Tepat Sasaran

"Sehat" sebagai target yang bisa diukur

Agar sesuai dengan judul buku, istilah "pangan sehat" tidak cukup dijelaskan dengan kata-kata seperti "lebih baik" atau "lebih alami". Dalam inovasi pangan, sehat harus diterjemahkan menjadi target yang bisa diukur, sehingga kita tahu apa yang ingin dicapai dan bagaimana membuktikannya. Untuk produk kering atau snack, ukuran "sehat" biasanya terkait dengan komponen yang paling sering menjadi perhatian konsumen: gula, garam, lemak, dan serat.

Misalnya, jika produk menargetkan "lebih sehat", maka kita perlu menetapkan batas gula yang lebih rendah atau lebih terkontrol dibanding snack biasa. Begitu juga dengan natrium/garam, karena konsumsi garam

yang berlebihan sering dikaitkan dengan risiko kesehatan. Banyak inovasi snack lokal juga menonjolkan serat pangan yang lebih tinggi, terutama bila menggunakan umbi, sereal, atau bahan nabati lokal.

Pada beberapa produk, lemak jenuh juga perlu diperhatikan, terutama jika prosesnya melibatkan penggorengan atau penggunaan bahan berlemak. Selain itu, penting juga melihat energi per sajian agar konsumen mendapat gambaran jelas tentang kontribusi kalori dari produk tersebut. Jika inovasi diarahkan menjadi snack tinggi protein (misalnya dari kacang-kacangan lokal, tempe, atau ikan), maka protein menjadi indikator utama.

Intinya, “sehat” itu spesifik dan bergantung tujuan produk. Tidak semua produk harus tinggi serat atau rendah lemak. Yang terpenting, target sehatnya jelas sejak awal, lalu dibuktikan dengan data uji bukan hanya klaim (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

“Lokal” sebagai sumber identitas dan sumber variasi mutu

Bahan pangan lokal punya dua sisi yang sama-sama penting: ia memberi identitas khas pada produk, tetapi juga membawa tantangan variasi mutu. Keunggulan bahan lokal adalah cita rasa unik, cerita asal-usul yang kuat, serta nilai ekonomi dan keberlanjutan karena mendukung petani atau produsen setempat. Namun, berbeda dengan bahan industri yang cenderung seragam, bahan lokal sering berubah-ubah kualitasnya. Perubahan ini bisa terjadi karena musim, varietas tanaman, cara panen, proses pascapanen, hingga cara penyimpanan.

Variasi pertama yang paling sering terasa adalah kadar air bahan. Bahan yang lebih lembap dapat membuat snack sulit renyah, cepat melempem, dan masa simpan (shelf-life) menjadi lebih pendek. Variasi berikutnya terkait pati dan serat. Umbi atau sereal lokal yang berbeda varietasnya bisa menghasilkan tekstur yang berbeda: ada yang lebih keras, lebih rapuh, atau terasa “berpasir”. Selain itu, bahan lokal juga memiliki aroma khas yang kuat. Aroma ini bisa menjadi nilai jual, tetapi juga bisa menjadi alasan

penolakan untuk konsumen yang tidak terbiasa artinya, penerimaan bisa berbeda antar segmen pasar.

Terakhir, ada risiko cemaran awal (misalnya dari tanah, air, atau penyimpanan yang kurang baik) yang dapat memengaruhi keamanan. Oleh karena itu, memakai bahan lokal bukan berarti cukup “ambil dari sekitar”. Bahan lokal perlu distandarisasi dan dikontrol agar produk tetap konsisten, aman, dan bisa dipercaya konsumen (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Moskowitz et al., 2012; Varela & Ares, 2014).

18.1.3 Profil Target Produk: Kompas sebelum Pengujian

Sebelum melakukan pengujian apa pun, Anda perlu membuat Profil Target Produk (PTP) seperti pada Tabel 18.1. PTP berfungsi sebagai “kompas” agar pengembangan produk tidak berjalan berdasarkan tebakan, tetapi mengikuti tujuan yang jelas dan mudah dicek. Tabel ini juga membantu tim mahasiswa, peneliti, maupun UMKM berbicara dengan bahasa yang sama: parameter apa yang diukur, targetnya apa, dan alasan ilmiahnya apa.

Tabel 18.1: Profil Target Produk (PTP)

Domain	Parameter	Target	Alasan (sehat–lokal–inovasi)
Schat	gula/natrium/serat	sesuai konsep produk	klaim sehat harus didukung data
Stabilitas	aw/kadar air	rendah (sesuai produk)	mencegah melempem & risiko mikro
Konsistensi	tekstur/warna	stabil antar-batch	bahan lokal bervariasi
Keamanan	mikro dasar	aman	sehat harus aman
Pasar	overall liking/niat beli	minimal “cukup suka”	inovasi harus dipilih

Pada kolom Domain, PTP membagi sasaran menjadi lima area: sehat, stabilitas, konsistensi, keamanan, dan pasar. Lalu kolom Parameter menjawab “apa yang diuji”, kolom Target menjelaskan “standar yang ingin dicapai”, sedangkan kolom Alasan menegaskan “mengapa target itu

penting” dalam konteks sehat-lokal-inovasi (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Di domain Sehat, misalnya, parameter gula/natrium/serat ditetapkan dengan target “sesuai konsep produk”. Artinya, jika Anda menyebut “rendah gula”, maka kadar gulanya memang harus lebih rendah; jika “tinggi serat”, seratnya harus terbukti meningkat. Ini penting karena klaim sehat harus didukung data, bukan sekadar label.

Domain Stabilitas menekankan aw/kadar air dengan target “rendah (sesuai produk)”. Untuk snack kering, target ini menentukan apakah produk tetap renyah atau cepat melempem, sekaligus menekan risiko mikroba. Domain Konsistensi fokus pada tekstur/warna agar stabil antar-batch, karena bahan lokal sering bervariasi. Domain Keamanan memastikan produk aman melalui uji mikro dasar sehat harus aman.

Terakhir, domain Pasar memakai overall liking/niat beli dengan target minimal “cukup suka”, karena inovasi yang baik harus dipilih konsumen. Praktisnya, PTP bisa ditempel di ruang produksi sebagai checklist sebelum batch baru dibuat dan dikemas (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (ICMSF, 2011) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014) (Moskowitz et al., 2012; Varela & Ares, 2014).

18.2 Pengujian Mutu Dasar

18.2.1 Mutu Fisik: Menjamin Produk Konsisten dan Stabil

Mutu fisik adalah “kesan pertama” yang paling cepat ditangkap konsumen ketika mencoba sebuah produk, terutama snack atau produk kering. Bahkan sebelum orang menilai sehat atau tidaknya suatu produk, mereka biasanya sudah membentuk opini dari hal-hal sederhana: apakah tampilannya menarik, apakah bunyinya renyah saat digigit, apakah teksturnya nyaman, dan apakah produk tetap bagus setelah disimpan

beberapa hari. Karena itu, mutu fisik sering menjadi penentu utama pembelian ulang.

Produk bisa saja punya cerita bahan lokal yang kuat dan klaim sehat yang menarik, tetapi jika teksturnya cepat melempem atau warnanya tidak konsisten, konsumen mudah kecewa dan tidak kembali membeli (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Pada Tabel 18.2. Parameter Mutu Fisik, ada empat parameter inti yang paling disarankan untuk dievaluasi pada snack/produk kering: tekstur/kenyamanan, warna, kadar air dan aktivitas air (aw), serta stabilitas selama simpan. Keempatnya saling berhubungan dan membentuk “paket” mutu fisik yang menentukan apakah produk terasa premium, segar, dan meyakinkan (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Tabel 18.2: Parameter Mutu Fisik dan Implikasi

Parameter	Mengapa penting	Jika bermasalah, biasanya karena	Arah solusi
Tekstur/Kerenyahan	penentu kesukaan	aw tinggi, pengeringan kurang, kemasan lemah	optimasi pengeringan & kemasan
Warna	persepsi kualitas	suhu/waktu proses tidak konsisten	kontrol proses, standarisasi bahan
Kadar air/aw	stabilitas & keamanan	bahan masuk lembap, proses kurang tuntas	kontrol bahan & proses
Stabilitas simpan	<i>repeat purchase</i>	serap uap air, kemasan kurang barrier	kemasan barrier + desikan

1. Tekstur/kenyamanan adalah identitas utama snack kering. Kenyamanan yang baik memberi sensasi “fresh” dan menyenangkan. Masalahnya, inovasi pangan sehat sering menggunakan bahan tinggi serat atau bahan lokal yang karakter

patinya berbeda-beda, sehingga tekstur bisa menjadi terlalu keras, terlalu rapuh, atau justru mudah melempem. Bila hasil pengujian menunjukkan kerenyahan tidak stabil, umumnya penyebabnya berkaitan dengan kadar air/aw, proses pengeringan yang belum optimal, atau kemasan yang kurang melindungi dari uap air. Arah solusinya bisa berupa optimasi suhu dan waktu pengeringan, pengaturan ketebalan produk, perbaikan ukuran partikel bahan (misalnya lebih halus), hingga penggunaan kemasan dengan barrier yang lebih baik (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

2. Warna juga penting karena membentuk persepsi kualitas. Warna yang seragam membuat produk tampak profesional dan higienis. Pada bahan lokal, warna sering berubah karena variasi bahan baku, perbedaan tingkat kematangan, atau proses pemanasan yang tidak konsisten. Jika warna terlalu gelap, bisa terjadi pemanasan berlebihan; jika terlalu pucat, bisa jadi proses kurang matang atau formulasi tidak stabil. Solusinya biasanya berupa kontrol proses (suhu/waktu lebih terstandar) dan standardisasi bahan (misalnya menetapkan spesifikasi bahan masuk).
3. Kadar air dan aktivitas air (aw) adalah “kunci teknis” untuk snack kering. Sederhananya, kadar air menunjukkan berapa banyak air yang tersisa, sedangkan aw menunjukkan seberapa “aktif” air tersebut dalam mendukung perubahan tekstur dan pertumbuhan mikroba. Pada snack, aw yang terlalu tinggi akan membuat produk cepat melempem, mudah berubah aroma, dan lebih rentan rusak. Jika masalah muncul pada parameter ini, fokus perbaikan biasanya jelas: pengeringan harus dituntaskan, bahan masuk harus cukup kering, dan kemasan harus mampu menahan masuknya uap air dari lingkungan (Nielsen, 2017; International Commission on

Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (ICMSF, 2011).

4. Stabilitas selama simpan adalah bukti bahwa produk tidak hanya enak saat baru dibuat, tetapi juga tetap layak setelah disimpan. Banyak snack terlihat bagus pada hari pertama, namun turun drastis pada hari ke-3 atau ke-7 karena menyerap kelembapan. Uji stabilitas sederhana (misalnya penyimpanan beberapa hari hingga dua minggu) bisa menunjukkan apakah kerenyahan turun atau tidak, apakah warna berubah, dan apakah ada tanda penurunan mutu. Jika stabilitas buruk, biasanya akar masalahnya kembali pada aw dan kemasan, sehingga perbaikannya mengarah pada pemilihan material kemasan yang tepat, penggunaan desikan bila perlu, dan penguatan SOP penyimpanan (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

5. Stabilitas Awal (Mini Shelf-life): Menghubungkan Mutu ke Kesiapan Pasar

Banyak inovasi pangan terlihat “berhasil” ketika baru selesai dibuat: tekstur masih renyah, aromanya enak, warnanya menarik, dan rasanya pas. Namun, tantangan sebenarnya sering muncul setelah produk disimpan. Snack yang renyah di hari pertama bisa berubah melempem pada hari ketiga. Aroma yang segar bisa menjadi apek. Warna bisa memudar atau justru menggelap. Karena itu, selain uji mutu dasar dan uji sensori, pengembangan produk juga membutuhkan uji stabilitas awal atau mini shelf-life. Uji ini tidak harus rumit seperti penelitian shelf-life lengkap, tetapi cukup untuk menjawab pertanyaan penting: apakah produk masih layak dan konsisten setelah beberapa hari disimpan? (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for

Foods [ICMSF], 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Uji stabilitas awal bisa dilakukan secara sederhana dengan menyimpan produk selama 7–14 hari (atau menyesuaikan kebutuhan dan jenis produk). Untuk UMKM, periode ini sudah sangat berguna sebagai “simulasi kecil” sebelum produk dijual atau didistribusikan. Yang dinilai bukan hanya “produk masih ada”, tetapi apakah kualitas utamanya tetap bertahan. Pada snack kering, kualitas utama biasanya adalah kerenyahan, karena inilah atribut yang paling mudah menurun ketika produk menyerap kelembapan dari udara (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Selama penyimpanan, amati dan catat perubahan pada beberapa aspek kunci. Pertama, kerenyahan/tekstur: apakah masih renyah, mulai melembek, atau berubah menjadi keras? Perubahan tekstur biasanya terkait dengan kadar air dan aktivitas air (*aw*), serta kemampuan kemasan menahan masuknya uap air. Kedua, aroma: apakah aromanya tetap khas, atau mulai muncul bau apek, tengik, atau “anyir”?

Bau apek sering muncul ketika produk menyerap kelembapan dan terjadi perubahan mikro, sementara bau tengik sering terkait oksidasi lemak terutama pada snack yang mengandung minyak, kacang, atau bahan berlemak. Ketiga, warna: apakah tetap cerah dan seragam, atau berubah menjadi kusam/menggelap? Perubahan warna bisa menunjukkan reaksi selama penyimpanan atau ketidakstabilan bahan (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (ICMSF, 2011).

Selain itu, perlu juga memantau indikasi jamur pada produk kering. Jamur memang tidak selalu muncul cepat, tetapi jika penyimpanan lembap dan kemasan kurang rapat, risiko ini bisa muncul bahkan dalam waktu singkat. Untuk produk yang relatif berlemak, perhatikan juga ketengikan. Ketengikan sering tidak terlihat, tetapi bisa sangat mudah tercium. Dari sisi

konsumen, bau tengik adalah “tanda bahaya” yang langsung menurunkan kepercayaan, bahkan jika produk masih terlihat baik.

Yang membuat uji mini shelf-life sangat bernilai adalah bagian dokumentasinya. Catat hasil observasi dengan format sederhana: tanggal simpan, kondisi penyimpanan, jenis kemasan, dan perubahan yang terjadi. Dokumentasi ini akan menjadi dasar keputusan: apakah masalah ada di proses pengeringan, di komposisi, atau di kemasan. Misalnya, jika kerenyahan turun cepat, perbaikan biasanya mengarah pada menurunkan aw lewat pengeringan yang lebih tepat atau memilih kemasan yang lebih kuat menahan uap air. Jika aroma cepat berubah, bisa jadi perlu evaluasi bahan baku (kualitas minyak, kesegaran bahan), teknik pemanasan, atau perlindungan dari oksidasi (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Dua poin kunci dari bagian ini sangat jelas. Pertama, uji stabilitas awal membuat inovasi lebih “nyata” untuk dipasarkan, karena Anda tidak hanya menunjukkan produk enak hari ini, tetapi juga layak disimpan dan dijual. Kedua, banyak kegagalan snack bukan terjadi karena resepnya buruk, melainkan karena dua hal yang sering diremehkan: kemasan dan kelembapan. Dengan mini shelf-life, Anda bisa menemukan masalah itu lebih cepat, lebih murah, dan lebih aman—sebelum produk terlanjur beredar luas dan merusak reputasi inovasi Anda (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).

Intinya, mutu fisik bukan sekadar urusan tampilan. Ia adalah jembatan penting yang menghubungkan inovasi sehat berbasis lokal dengan pengalaman nyata konsumen. Dengan menguji empat parameter pada tabel tersebut dan menindaklanjutinya dengan solusi yang tepat, produk akan lebih konsisten, stabil, dan lebih besar peluangnya diterima pasar.

18.2.2 Mutu Kimia dan Gizi: Membuktikan “Sehat” dengan Data

Proksimat sebagai dasar karakterisasi

Analisis proksimat adalah langkah awal untuk “membaca isi” sebuah produk sebelum kita berbicara lebih jauh tentang klaim sehat. Proksimat memberi gambaran dasar tentang kadar air, protein, lemak, abu/mineral, dan karbohidrat, sehingga kita bisa memahami mengapa produk terasa seperti itu renyah atau lembek, ringan atau padat, gurih atau terasa “flat”. Dengan kata lain, proksimat menjadi fondasi yang menjelaskan hubungan antara komposisi gizi dan pengalaman sensori (AOAC INTERNATIONAL, 2019; Nielsen, 2017) (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Tabel 18.3 menyajikan keterkaitan Parameter Gizi–Sehat dan Hubungannya ke Sensori, proksimat membantu menafsirkan mengapa suatu parameter sehat menimbulkan efek tertentu pada rasa dan tekstur. Misalnya, ketika lemak turun karena proses baked/air-fried, sensasi “rich” atau rasa “mantap” sering ikut menurun. Ini sejalan dengan tabel yang menunjukkan bahwa perubahan gizi dapat mengubah sensori, sehingga perlu strategi inovasi agar produk tetap enak.

Begitu juga ketika kadar air masih tinggi, snack menjadi cepat melempem; ini bukan hanya masalah fisik, tetapi juga memengaruhi sensasi makan dan kesukaan konsumen (AOAC INTERNATIONAL, 2019; Nielsen, 2017) (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

Proksimat juga membantu memverifikasi dampak penggunaan bahan lokal: tambahan kacang, tempe, atau ikan akan menaikkan protein, yang dapat mengubah tekstur menjadi lebih padat dan rasa lebih “berisi”. Sementara

peningkatan komponen nabati tertentu dapat mengubah struktur karbohidrat dan serat, yang sering menimbulkan mouthfeel lebih kasar.

Karena itu, proksimat bukan sekadar angka ia adalah jembatan awal untuk memahami trade-off yang nantinya terlihat jelas pada tabel: gizi berubah → sensori ikut berubah → strategi perbaikan diperlukan (AOAC INTERNATIONAL, 2019; Nielsen, 2017) (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Parameter “sehat” yang paling informatif untuk snack

Untuk menjadikan “snack sehat” sebagai klaim yang kuat, parameter yang dipilih harus dua hal: mudah dipahami konsumen dan terkait langsung dengan sensori, seperti yang dirangkum pada Tabel 18.3. Empat indikator paling informatif adalah gula total, natrium/garam, serat pangan, dan energi per sajian. Namun yang membuatnya penting bukan hanya manfaat kesehatan, melainkan juga efeknya pada rasa dan tekstur serta strategi agar efek negatifnya bisa dikendalikan (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Pertama, ketika gula diturunkan, produk memang lebih ramah untuk kontrol gula, tetapi sensasinya sering terasa “kurang nendang” atau “flat”. Tabel menunjukkan solusi yang lebih cerdas daripada sekadar menaikkan gula kembali: gunakan rempah lokal, aroma alami, atau keseimbangan asam untuk memperkuat persepsi rasa. Kedua, saat garam/natrium diturunkan, snack gurih bisa terasa hambar. Strateginya adalah memperkuat rasa dengan bumbu rempah, sumber umami alami, atau teknik pemanggangan yang memunculkan flavor tanpa menambah garam berlebihan.

Ketiga, ketika serat dinaikkan, manfaatnya jelas untuk pencernaan dan rasa kenyang, tetapi tabel juga mengingatkan: mouthfeel bisa menjadi kasar atau keras. Solusi inovasinya adalah penghalusan ukuran partikel, komposit bahan (mencampur beberapa bahan lokal), atau penyesuaian proses agar tekstur tetap nyaman. Keempat, energi per sajian penting untuk positioning “snack sehat”, tetapi jika energi diturunkan terlalu ekstrem, produk bisa

kehilangan kepuasan makan; karena itu perlu menjaga keseimbangan komposisi dan sensori (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Intinya, tabel tersebut menegaskan bahwa inovasi sehat yang berhasil adalah yang mampu mengelola hubungan manfaat gizi ↔ dampak sensori ↔ strategi perbaikan, sehingga produk tetap sehat, tetap enak, dan tetap dibeli (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Tabel 18.3: Parameter Gizi–Sehat dan Hubungannya ke Sensori

Parameter sehat	Manfaat kesehatan	Dampak sensori yang sering terjadi	Strategi inovasi (solusi)
Gula diturunkan	kontrol gula	rasa “flat”	rempah lokal, aroma alami, balance asam
Garam diturunkan	kontrol natrium	kurang gurih	bumbu rempah, umami alami, teknik pemanggang
Serat dinaikkan	kesehatan pencernaan	mouthfeel kasar/keras	penghalusan partikel, komposit bahan
Lemak dikurangi	kalori turun	tekstur kurang “rich”	optimasi proses, pemilihan bahan

18.2.3 Mutu Mikrobiologi dan Keamanan: Sehat Itu Harus Aman

Banyak orang menganggap snack kering otomatis aman karena “tidak basah” dan bisa tahan lama. Memang benar, produk kering umumnya lebih stabil dibanding makanan berair. Namun, stabil bukan berarti bebas risiko. Pada inovasi pangan sehat berbasis sumber daya lokal, risiko mikrobiologi tetap dapat muncul terutama jika bahan baku datang dalam kondisi lembap, proses pengeringan tidak tuntas, atau kemasan tidak mampu melindungi produk dari uap air. Karena itu, konsep paling penting yang perlu ditegaskan dalam sub-bab ini adalah: sehat harus aman. Produk yang

mengklaim sehat tetapi tidak aman justru berbahaya dan akan merusak kepercayaan konsumen (ICMSF, 2011).

Parameter mikro minimum

Untuk memastikan keamanan secara praktis, ada beberapa parameter mikrobiologi minimum yang umum digunakan. Pertama adalah ALT/TPC (Angka Lempeng Total/Total Plate Count). Parameter ini bisa dianggap sebagai “termometer kebersihan” proses produksi. ALT/TPC tidak langsung menunjukkan adanya patogen tertentu, tetapi memberi gambaran apakah kondisi produksi, kebersihan alat, dan higiene pekerja sudah cukup baik. Jika nilainya tinggi, itu sinyal bahwa proses perlu dibenahi—mulai dari sanitasi peralatan, kebersihan ruang produksi, hingga kontrol bahan baku (ICMSF, 2011).

Kedua, kapang dan khamir (jamur dan ragi) sangat relevan untuk produk kering. Mengapa? Karena snack kering mudah menyerap kelembapan dari udara. Jika kemasan kurang rapat atau penyimpanan berada di tempat lembap, permukaan produk bisa menjadi “cukup basah” bagi kapang untuk tumbuh. Jamur bukan hanya merusak produk, tetapi juga berpotensi menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan dan membuat aroma berubah. Dari sisi konsumen, munculnya jamur atau bau apek adalah “tanda gagal” yang langsung menghentikan pembelian ulang (ICMSF, 2011).

Ketiga, koliform/*E. coli* perlu dipertimbangkan bila risiko higienitas tinggi misalnya penggunaan air proses yang tidak terkontrol, sanitasi yang belum konsisten, atau produksi dilakukan di lingkungan dengan potensi kontaminasi silang. Indikator ini membantu menilai kebersihan dan kemungkinan kontaminasi dari sumber air atau penanganan yang kurang higienis. Untuk banyak UMKM, parameter ini penting sebagai alarm awal sebelum masalah menjadi lebih serius (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (ICMSF, 2011).

Agar lebih mudah diterapkan di lapangan, berikut titik kritis sederhana yang paling sering menentukan aman atau tidaknya snack kering:

1. Bahan masuk harus kering dan tidak berjamur: Bahan lokal sering bervariasi. Jika bahan masuk sudah lembap atau berbau, risiko mikro sudah “dibawa dari awal” (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (ICMSF, 2011).
2. Pengeringan harus mencapai tekstur yang stabil.
Pengeringan yang setengah matang membuat produk tampak jadi, tetapi sebenarnya masih menyimpan kelembapan yang mempercepat kerusakan.
3. Kemasan harus mencegah masuknya uap air.
Produk kering paling sering rusak karena menyerap kelembapan dari udara. Kemasan yang bagus adalah “pagar” utama.
4. Kebersihan alat dan area produksi harus konsisten.
Bukan hanya bersih saat inspeksi, tetapi bersih setiap hari. Konsistensi adalah kunci.

Sebagai ringkasan pada bagian ini, Pertama, “sehat” tanpa keamanan adalah kontradiksi-produk boleh rendah gula, tinggi serat, atau berbahan lokal unggul, tetapi tetap harus aman. Kedua, pada produk lokal, keamanan sering ditentukan oleh tiga hal yang saling terhubung: pascapanen (kondisi bahan masuk), proses (pengeringan & sanitasi), dan kemasan (perlindungan dari uap air). Jika tiga hal ini dikelola dengan baik, maka inovasi sehat berbasis lokal akan lebih dipercaya dan lebih siap bersaing di pasar.

18.3 Penerimaan Konsumen

18.3.1 Penerimaan Konsumen: Apakah Produk Sehat Lokal Dipilih?

Produk pangan sehat berbasis sumber daya lokal bisa saja unggul di atas kertas misalnya lebih tinggi serat, lebih rendah gula, atau menggunakan bahan lokal yang bernilai. Namun, ada satu “ujian terakhir” yang menentukan nasibnya di pasar: apakah konsumen mau memilihnya? Di sinilah uji penerimaan konsumen menjadi sangat penting. Sederhananya, pengujian ini membantu kita mengetahui empat hal: produk ini disukai atau tidak, bagian mana yang perlu diperbaiki, siapa konsumen yang paling cocok, dan seberapa besar peluang produk dibeli.

Uji penerimaan konsumen tidak hanya mengukur “enak atau tidak enak”. Ia juga berfungsi seperti peta yang menunjukkan mengapa konsumen suka atau menolak. Misalnya, konsumen mungkin menyukai aroma dan rasa, tetapi menolak karena teksturnya terlalu keras. Atau sebaliknya: teksturnya bagus, tetapi rasanya terasa “flat” karena gula atau garam diturunkan. Temuan seperti ini sangat berguna karena memberi arah perbaikan yang jelas, tanpa harus menebak-nebak.

Selain itu, penerimaan konsumen membantu menentukan segmen pasar. Produk sehat lokal tidak selalu cocok untuk semua orang. Ada konsumen yang sangat terbuka pada rasa khas lokal, tetapi ada juga yang lebih menyukai rasa netral. Ada yang rela membayar lebih untuk nilai sehat dan lokal, ada yang sangat sensitif terhadap harga. Dengan uji penerimaan, Anda bisa mengetahui “produk ini paling cocok untuk siapa”-misalnya untuk konsumen yang peduli kesehatan, keluarga muda, atau penikmat pangan tradisional modern (Moskowitz et al., 2012; Varela & Ares, 2014).

18.3.2 Desain uji sensorial yang sederhana namun sah

Agar hasil uji penerimaan bisa dipercaya, desain uji sensorial harus sederhana tetapi benar. Di gambar tabel, Anda bisa melihat bahwa desain uji biasanya dirancang berdasarkan tujuan, metode, skala, dan output keputusan.

Artinya, sebelum uji dilakukan, kita perlu jelas dulu: mau mencari apa? (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010):

1. Jika tujuan Anda adalah mengetahui kesukaan umum, gunakan uji hedonik (menilai rasa, aroma, tekstur, warna, dan overall) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O'Mahony, 2014).
2. Jika tujuan Anda adalah mencari titik “pas” pada produk sehat (misalnya manisnya kurang), gunakan uji JAR (Kurang–Pas–Berlebih) (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012).
3. Jika tujuan Anda adalah menilai potensi pasar, tambahkan niat beli dan (bila perlu) kisaran harga yang dianggap wajar (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012) (Moskowitz et al., 2012; Varela & Ares, 2014).
4. Jika tujuan Anda memilih formula terbaik dari beberapa kandidat, gunakan ranking atau paired comparison.

Supaya pelaksanaannya sah, ikuti prinsip dasar berikut:

1. Panelis cukup beragam atau sesuai target. Untuk produk sehat lokal, sebaiknya panelis mewakili calon pembeli (misalnya health-conscious atau konsumen umum) (ICMSF, 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).
2. Sampel diberi kode (blind). Ini mencegah bias seperti “yang warna lebih menarik pasti lebih enak” (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

3. Urutan penyajian acak. Supaya sampel yang dicoba pertama tidak otomatis dapat skor lebih tinggi atau lebih rendah (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).
4. Ada air bilas. Sangat penting agar rasa sampel sebelumnya tidak “menempel”.
5. Penilaian mencakup atribut utama dan overall. Karena keputusan beli biasanya dipengaruhi gabungan rasa–aroma–tekstur, bukan satu faktor saja.

Dengan desain yang rapi seperti pada tabel, uji penerimaan konsumen menjadi alat keputusan yang kuat: Anda bisa menentukan apakah produk siap lanjut, perlu perbaikan, atau perlu disesuaikan segmennya. Pada akhirnya, inovasi pangan sehat lokal yang berhasil adalah yang tidak hanya “benar secara gizi”, tetapi juga diterima lidah dan dipilih dompet konsumen.

Tabel 18.4: Desain Uji Sensori

Tujuan	Metode	Panelis	Skala	Output
Kesukaan umum	Hedonik	30–100	7/9 poin	skor liking & atribut kunci
Titik “pas” sehat	JAR	30–100	3 kategori	arah perbaikan manis/asin/tekstur
Pilih formula	Ranking/paired	30–80	pilih/peringkat	formula final
Potensi pasar	Niat beli & WTP	50–150	1–5 + rentang harga	kelayakan komersial awal

18.3.3 Uji Hedonik: Mengukur Kesukaan Secara Langsung

Uji hedonik adalah cara paling sederhana dan paling populer untuk mengetahui satu hal penting: apakah orang suka produk kita atau tidak. Kata “hedonik” sendiri merujuk pada penilaian berdasarkan rasa senang atau tidak senang, sehingga uji ini cocok untuk inovasi pangan sehat

berbasis bahan lokal yang tujuannya bukan hanya “benar secara gizi”, tetapi juga enak dan layak dibeli.

Dalam pengembangan snack, uji hedonik sering menjadi langkah awal sebelum produk diuji lebih jauh, karena ia memberi gambaran cepat tentang peluang diterimanya produk di pasar (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

Pada uji hedonik, panelis (responden) diminta memberi skor kesukaan terhadap beberapa atribut utama, yaitu rasa, aroma, tekstur, warna, dan overall liking. Rasa menjawab pertanyaan “enak atau tidak enak”; aroma membantu menilai apakah bau produk menarik atau justru mengganggu; tekstur menentukan kenyamanan saat dikunyah untuk snack kering biasanya terkait langsung dengan kerenyahan; warna memberi kesan pertama yang memengaruhi selera; dan overall liking adalah penilaian total: “kalau digabung semuanya, saya suka atau tidak?” (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

Hal yang penting dipahami, overall liking bukan sekadar rata-rata. Overall liking adalah “putusan akhir” yang muncul dari pengalaman makan secara keseluruhan. Karena itu, ia sangat berguna sebagai indikator ringkas, tetapi tidak cukup untuk menjelaskan masalah. Di sinilah peran atribut detail menjadi krusial. Jika overall liking rendah, kita perlu bertanya: apa yang membuat orang tidak suka? rasa, tekstur, atau aromanya? (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

Dalam snack sehat, penurunan skor sering terjadi pada dua area yang paling sensitif. Pertama adalah tekstur, khususnya kerenyahan. Banyak inovasi sehat memakai bahan tinggi serat atau mengurangi lemak, sehingga snack bisa menjadi terlalu keras, terlalu padat, mudah melempem, atau terasa “berpasir”. Walaupun rasanya cukup enak, tekstur yang kurang nyaman bisa langsung menurunkan overall liking. Kedua adalah rasa, terutama ketika produk dibuat lebih sehat dengan menurunkan gula atau garam.

Produk mungkin lebih baik secara gizi, tetapi konsumen merasa rasanya “kurang nendang”, kurang gurih, atau kurang manis. Di sinilah tantangan inovasi muncul: bagaimana menjaga rasa tetap kuat tanpa kembali ke gula/garam tinggi (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

Contoh cara membaca hasil uji hedonik yang mudah:

1. Jika rasa tinggi tetapi tekstur rendah, fokus perbaikan ada pada proses pengeringan, kadar air/aw, ukuran partikel bahan, atau kemasan (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011).
2. Jika tekstur tinggi tetapi rasa rendah, fokus perbaikan ada pada formulasi bumbu, penguatan aroma alami, atau strategi rasa (misalnya rempah lokal).
3. Jika semua atribut rendah, kemungkinan produk belum cocok untuk segmen panelis atau perlu reformulasi besar (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Dengan pendekatan ini, uji hedonik bukan hanya “penilaian suka-tidak suka”, tetapi menjadi alat diagnostik awal untuk memperbaiki produk secara terarah (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O’Mahony, 2014).

18.3.4 Uji JAR: Menemukan Titik “Pas” untuk Produk Sehat

Dalam inovasi pangan sehat, tantangan paling sering bukan pada “bisa dibuat atau tidak”, tetapi pada satu hal sederhana: apakah rasanya pas di lidah konsumen? Produk sehat sering mengurangi gula, garam, atau lemak. Tujuannya baik, tetapi efek sampingnya jelas: rasa bisa terasa kurang kuat, tekstur bisa berubah, dan sensasi makan menjadi berbeda dari snack biasa.

Di sinilah uji JAR (Just-About-Right) sangat membantu (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012).

Uji JAR pada dasarnya menanyakan kepada panelis: “menurut Anda, atribut ini kurang, pas, atau berlebih?” Atribut yang dinilai biasanya adalah manis, asin/gurih, kerenyahan, kadang juga aroma atau kekentalan (untuk produk minuman). Berbeda dengan uji hedonik yang menilai “suka atau tidak suka”, JAR lebih fokus pada “apakah levelnya sudah tepat”. Karena itu, JAR sangat cocok untuk produk sehat, karena kebanyakan masalah produk sehat ada pada level bukan pada ada atau tidaknya rasa (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010) (Peryam & Pilgrim, 1957; Stone et al., 2012; Wichchukit & O'Mahony, 2014) (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012).

Kekuatan utama JAR adalah: ia memberi arah perbaikan yang jelas tanpa menebak-nebak. Misalnya, jika mayoritas panelis menilai manisnya kurang, itu bukan berarti solusi paling tepat adalah menambah gula sebanyak-banyaknya. Untuk produk sehat, kita perlu strategi yang tetap menjaga konsep sehat. Salah satu caranya adalah menguatkan aroma dan rasa “manis” secara persepsi, misalnya dengan rempah lokal (kayu manis, jahe, vanila alami), aroma buah, atau sedikit keseimbangan asam agar rasa terasa lebih “hidup”. Dengan strategi ini, produk bisa terasa lebih pas tanpa kehilangan nilai sehatnya (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010) (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012).

Contoh lain, jika mayoritas panelis menilai kerenyahannya kurang, artinya masalah utama mungkin bukan pada bumbu, melainkan pada kadar air dan aktivitas air (aw) atau kemasan. Snack yang aw-nya masih tinggi akan cepat melempem, apalagi jika kemasan mudah dimasuki uap air. Maka fokus perbaikan adalah memperbaiki pengeringan, menurunkan aw, dan memilih kemasan yang lebih baik bukan mengubah resep rasa secara besar-besaran (Nielsen, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2011) (Stone et al., 2012; Lawless & Heymann, 2010).

Dengan JAR, Anda bisa mengetahui atribut mana yang “melenceng” dan seberapa jauh melencengnya, lalu memperbaiki bagian yang tepat. Itulah sebabnya JAR sering disebut alat utama untuk mengatasi trade-off “sehat vs enak”: produk tetap sehat, tetapi level rasa dan teksturnya bisa dibuat “pas” sesuai harapan konsumen (Lawless & Heymann, 2010; Stone et al., 2012).

Bab 19

Contoh Produk: Minuman Fungsional, Camilan Sehat, dan Pangan Fermentasi

19.1 Pendahuluan

Pengembangan produk pangan inovatif saat ini tidak hanya berfokus pada aspek rasa dan nilai ekonomi, tetapi juga pada manfaat kesehatan yang dapat diberikan kepada konsumen. Perubahan gaya hidup masyarakat modern, meningkatnya kesadaran terhadap kesehatan, serta meningkatnya prevalensi penyakit tidak menular seperti diabetes, obesitas, dan penyakit kardiovaskular mendorong berkembangnya produk pangan yang mampu memberikan manfaat kesehatan tambahan selain fungsi nutrisi dasar. Produk pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi dasar tetapi juga memberikan efek fisiologis positif bagi tubuh dikenal sebagai pangan fungsional.

Pangan fungsional merupakan pangan yang secara alami mengandung komponen bioaktif atau pangan yang telah diperkaya dengan senyawa tertentu yang mampu memberikan manfaat kesehatan apabila dikonsumsi secara rutin dalam jumlah yang wajar. Komponen bioaktif yang umumnya terdapat dalam pangan fungsional meliputi antioksidan, probiotik, prebiotik, vitamin, mineral, asam lemak esensial, serta berbagai senyawa fitokimia seperti flavonoid, karotenoid, dan polifenol. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki aktivitas biologis yang berperan dalam meningkatkan sistem imun, memperbaiki fungsi pencernaan, mengurangi risiko penyakit kronis, serta membantu menjaga keseimbangan metabolisme tubuh (Granato et al., 2020; Amin et al., 2025).

Komponen bioaktif dalam pangan fungsional dapat berasal dari bahan alami seperti buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, sereal, dan tanaman herbal, maupun diperoleh melalui proses pengolahan tertentu seperti fermentasi, fortifikasi, atau teknologi enkapsulasi. Proses fermentasi, misalnya, dapat meningkatkan ketersediaan hayati (bioavailability) nutrisi serta menghasilkan mikroorganisme probiotik yang bermanfaat bagi kesehatan saluran pencernaan. Selain itu, fortifikasi pangan juga sering dilakukan dengan menambahkan vitamin, mineral, atau senyawa bioaktif tertentu untuk meningkatkan nilai gizi produk pangan (Martirosyan & Singh, 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsumsi pangan yang mengandung senyawa bioaktif dapat memberikan berbagai manfaat kesehatan, seperti meningkatkan kesehatan pencernaan melalui aktivitas probiotik, memperkuat sistem kekebalan tubuh, serta melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas melalui aktivitas antioksidan. Antioksidan bekerja dengan cara menetralkan radikal bebas yang dapat menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan sel, yang pada akhirnya dapat memicu berbagai penyakit degeneratif (Amin et al., 2025; Shahidi & Ambigaipalan, 2020).

Dalam praktiknya, pengembangan pangan fungsional dapat diwujudkan dalam berbagai bentuk produk seperti minuman fungsional, camilan sehat,

dan pangan fermentasi. Minuman fungsional biasanya dikembangkan dari bahan alami yang kaya antioksidan atau mengandung probiotik, seperti jus buah, minuman herbal, dan kombucha.

Sementara itu, camilan sehat diformulasikan dengan memperhatikan keseimbangan nutrisi serta kandungan serat, protein, dan senyawa bioaktif yang tinggi. Di sisi lain, pangan fermentasi merupakan produk yang dihasilkan melalui aktivitas mikroorganisme yang mampu meningkatkan nilai gizi serta menghasilkan senyawa metabolit yang bermanfaat bagi kesehatan. Ketiga jenis produk tersebut memiliki potensi besar untuk dikembangkan dengan memanfaatkan bahan baku lokal serta dukungan teknologi pengolahan pangan modern.

Pemanfaatan bahan lokal tidak hanya dapat meningkatkan nilai tambah komoditas pertanian tetapi juga mendukung diversifikasi pangan serta ketahanan pangan nasional. Dengan kombinasi inovasi teknologi dan pemanfaatan sumber daya lokal, pengembangan produk pangan fungsional dapat menjadi salah satu strategi penting dalam meningkatkan kualitas gizi masyarakat sekaligus memperkuat daya saing industri pangan di masa depan.

19.2 Minuman Fungsional

Minuman fungsional merupakan jenis minuman yang diformulasikan dengan menambahkan komponen bioaktif tertentu sehingga memberikan manfaat kesehatan tambahan selain fungsi hidrasi. Komponen bioaktif yang umum digunakan dalam minuman fungsional meliputi antioksidan, probiotik, vitamin, mineral, serta ekstrak tanaman herbal. Salah satu contoh minuman fungsional yang populer adalah kombucha, yaitu minuman fermentasi yang dibuat dari teh manis yang difermentasi oleh kultur simbiotik bakteri dan khamir yang dikenal sebagai SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast).



Gambar 19.1: Minuman Fungsional

Proses fermentasi menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti asam organik, vitamin, enzim, dan antioksidan. Senyawa tersebut diketahui memiliki aktivitas antimikroba, antioksidan, serta berpotensi meningkatkan kesehatan pencernaan dan sistem imun tubuh. Selain kombucha, berbagai minuman fungsional dapat dikembangkan dari bahan alami seperti jahe, kunyit, rosella, daun kelor, dan madu. Tanaman herbal tersebut mengandung senyawa fitokimia seperti polifenol dan flavonoid yang berperan sebagai antioksidan sehingga dapat membantu melindungi sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas.

Contoh minuman fungsional antara lain:

1. Kombucha
2. Minuman herbal jahe dan kunyit
3. Jus buah tinggi antioksidan
4. Minuman probiotik berbasis susu atau nabati
5. Smoothie buah dan sayuran

19.3 Camilan Sehat

Camilan sehat merupakan produk pangan ringan yang dirancang untuk memberikan nilai gizi yang lebih baik dibandingkan camilan konvensional. Produk ini umumnya memiliki kandungan gula dan lemak yang lebih rendah tetapi kaya akan serat, protein, vitamin, dan mineral. Camilan sehat banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan pangan lokal yang memiliki kandungan gizi tinggi seperti tepung singkong termodifikasi (MOCAP), tepung kelor, tepung sorgum, serta berbagai jenis biji-bijian.

Salah satu contoh produk inovatif adalah cookies berbasis tepung mocaf dan tepung daun kelor. Daun kelor diketahui memiliki kandungan nutrisi yang tinggi seperti vitamin A, vitamin C, kalsium, zat besi, serta berbagai senyawa antioksidan yang berperan dalam meningkatkan kesehatan tubuh. Oleh karena itu, pemanfaatan daun kelor dalam produk camilan dapat meningkatkan nilai gizi sekaligus menjadikan produk sebagai pangan fungsional.

Contoh camilan sehat antara lain:

1. Cookies mocaf kelor
2. Granola bar berbasis biji-bijian
3. Keripik sayuran rendah minyak
4. Biskuit tinggi serat
5. Snack protein nabati

Pengembangan camilan sehat sangat penting karena camilan sering dikonsumsi di antara waktu makan utama sehingga dapat berkontribusi terhadap asupan nutrisi harian.



Gambar 19.2: Contoh Camilan Sehat

19.4 Pangan Fermentasi

Pangan Fermentasi merupakan produk pangan yang dihasilkan melalui aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, khamir, atau kapang yang mengubah komponen kimia bahan pangan menjadi senyawa yang lebih sederhana. Fermentasi tidak hanya meningkatkan cita rasa dan aroma produk tetapi juga dapat meningkatkan nilai gizi serta daya cerna pangan. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi sering kali menghasilkan probiotik, yaitu mikroorganisme hidup yang memberikan manfaat kesehatan bagi tubuh.

Probiotik dapat membantu menjaga keseimbangan mikrobiota usus, meningkatkan sistem imun, serta memperbaiki proses pencernaan makanan. Berikut adalah contoh pangan fermentasi yang umum dikenal dan sering dijadikan contoh dalam pembahasan pangan fungsional karena

mengandung mikroorganisme bermanfaat serta berbagai senyawa bioaktif yang mendukung kesehatan tubuh.

1. Tempe

Tempe merupakan produk fermentasi kedelai yang menggunakan kapang *Rhizopus* sp., terutama *Rhizopus oligosporus*. Dalam proses fermentasi, kapang akan menghasilkan enzim yang mampu memecah protein, karbohidrat, dan lemak menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga meningkatkan daya cerna dan ketersediaan nutrisi. Fermentasi juga dapat meningkatkan kandungan vitamin tertentu seperti vitamin B kompleks serta menghasilkan senyawa bioaktif yang bersifat antioksidan. Tempe dikenal sebagai sumber protein nabati berkualitas tinggi dan banyak dikonsumsi sebagai pangan sehari-hari di Indonesia.

2. Yoghurt

Yoghurt merupakan produk fermentasi susu yang dihasilkan oleh aktivitas bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Selama proses fermentasi, bakteri tersebut mengubah laktosa menjadi asam laktat sehingga menghasilkan rasa asam khas dan tekstur yang lebih kental. Yoghurt mengandung probiotik yang dapat membantu menjaga keseimbangan mikrobiota usus, meningkatkan kesehatan pencernaan, serta mendukung sistem imun. Selain itu, yoghurt juga merupakan sumber protein, kalsium, dan vitamin yang baik bagi tubuh.

3. Kefir

Kefir adalah minuman fermentasi susu yang dihasilkan melalui aktivitas butiran kefir (kefir grains) yang mengandung campuran bakteri asam laktat, bakteri asam asetat, dan khamir. Proses fermentasi menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti asam

organik, vitamin, dan peptida bioaktif. Kefir dikenal memiliki keragaman mikroorganisme probiotik yang lebih tinggi dibandingkan yoghurt sehingga memberikan manfaat kesehatan yang lebih luas, seperti meningkatkan kesehatan pencernaan, membantu meningkatkan sistem kekebalan tubuh, serta berpotensi menurunkan kadar kolesterol.

4. Kimchi

Kimchi merupakan makanan fermentasi tradisional Korea yang dibuat dari sayuran, terutama sawi putih (*Brassica rapa*), yang difermentasi dengan bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus plantarum* dan *Leuconostoc mesenteroides*. Proses fermentasi menghasilkan asam organik, vitamin, serta berbagai senyawa bioaktif yang memberikan rasa khas pada kimchi. Produk ini kaya akan serat, vitamin C, serta probiotik yang bermanfaat untuk menjaga kesehatan saluran pencernaan, meningkatkan sistem imun, serta membantu menjaga keseimbangan mikrobiota usus.

5. Kombucha

Kombucha merupakan minuman fermentasi yang dibuat dari teh manis yang difermentasi menggunakan kultur simbiotik bakteri dan khamir yang dikenal sebagai SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*). Selama proses fermentasi, mikroorganisme dalam SCOBY menghasilkan berbagai senyawa seperti asam asetat, asam glukonat, enzim, vitamin, serta antioksidan. Senyawa tersebut berkontribusi terhadap berbagai manfaat kesehatan, seperti membantu detoksifikasi tubuh, meningkatkan kesehatan pencernaan, serta berpotensi memberikan aktivitas antimikroba dan antioksidan.



Gambar 19.3: Contoh produk pangan fermentasi

Secara umum, pangan fermentasi memiliki peran penting dalam sistem pangan karena tidak hanya meningkatkan cita rasa dan daya simpan bahan pangan, tetapi juga dapat meningkatkan nilai gizi serta menghasilkan mikroorganisme probiotik dan metabolit bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengembangan dan konsumsi pangan fermentasi menjadi salah satu pendekatan penting dalam pengembangan pangan fungsional.

19.5 Produk Pangan Fungsional Berbasis Bahan Lokal Papua

Papua memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi sehingga memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku pangan fungsional. Beberapa Komoditas lokal yang memiliki nilai gizi tinggi antara lain buah merah (*Pandanus conoideus*), sagu, dan berbagai tanaman herbal lokal. Buah merah merupakan tanaman khas Papua yang telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat lokal sebagai bahan pangan maupun obat tradisional.

Buah ini mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti beta-karoten, tokoferol, asam lemak tak jenuh, dan berbagai antioksidan yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan bagi tubuh. Penelitian juga menunjukkan bahwa ekstrak buah merah memiliki aktivitas antioksidan yang kuat

sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku pangan fungsional maupun suplemen kesehatan.

Selain buah merah, sagu merupakan sumber karbohidrat utama masyarakat Papua yang dapat diolah menjadi berbagai produk pangan inovatif seperti mie sagu, biskuit sagu, bubur sagu, serta snack berbasis sagu. Pengembangan produk pangan berbasis sagu tidak hanya meningkatkan nilai tambah komoditas lokal tetapi juga mendukung diversifikasi pangan nasional.

Contoh inovasi produk pangan berbasis bahan lokal Papua antara lain:

1. Minuman fungsional sari buah merah
2. Cookies sagu dengan tepung kelor
3. Kombucha berbasis tanaman herbal Papua
4. Bubur sagu tinggi serat
5. Snack sagu rendah gluten



Gambar 19.4: Contoh produk pangan lokal Papua

Pengembangan produk pangan berbasis bahan lokal tersebut dapat meningkatkan nilai ekonomi komoditas daerah sekaligus memperkenalkan kekayaan biodiversitas Papua kepada pasar nasional maupun internasional.

Selain itu, inovasi pangan fungsional berbasis sumber daya lokal juga dapat mendukung pengembangan industri pangan daerah, meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal, serta memperkuat ketahanan pangan berbasis potensi wilayah.

Bab 20

Inovasi Pangan sebagai Sumber Pendapatan Desa

20.1 Inovasi Pangan Desa, Tantangan dan Peluangnya

Menurut Undang-Undang No. 18 tahun 2002, Inovasi merupakan suatu kegiatan penelitian, pengembangan, dan/atau perekayasaan yang bertujuan mengembangkan penerapan praktis nilai dan konteks ilmu pengetahuan yang baru, atau cara baru untuk menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah ada ke dalam produk atau proses produksi (Batoebara, 2021). Inovasi di bidang pangan dapat berupa penerapan teknologi, peningkatan kualitas dan kuantitas produksi, pengembangan produk, keamanan maupun keberlanjutan pangan.

Potensi sumber daya lokal baik dari sektor pertanian, perikanan, peternakan maupun hasil hutan Indonesia masih sangat berlimpah dan layak untuk dimanfaatkan untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat

terutama untuk pemenuhan pangan masyarakat. Semua potensi ini umumnya berada di wilayah pedesaan, dengan demikian maka pengembangan dan pembangunan kawasan pedesaan menjadi bagian penting sebagai usaha untuk mencapai ketahanan pangan (Arifin et al., 2021). Optimalisasi sumber daya lokal pedesaan dapat dilakukan misalnya dengan pemanfaatan lahan pekarangan, diversifikasi pangan pokok selain beras untuk menopang kebutuhan pangan keluarga serta melakukan berbagai inovasi dalam pengelolaan pangan maupun pengolahan pangan.

Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) memainkan peran kunci dalam meningkatkan ketahanan pangan, sebagaimana diatur dalam Kepmendesa No. 3 Tahun 2025. Dengan adanya kebijakan pengalokasian minimal 20% dana desa untuk ketahanan pangan dan penyertaan modal bagi BUMDes, langkah-langkah strategis perlu dirancang agar program ini berjalan efektif.

Dalam sebuah penelitian di bidang pangan (Purnomo et al., 2025) terhadap program pengabdian yang mendukung ketahanan pangan dan kemandirian desa melalui pendampingan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes), ternyata berhasil meningkatkan keterlibatan aktif masyarakat dalam pengelolaan Rukun Pangan, mendorong pola konsumsi lokal yang berkelanjutan, dan menumbuhkan semangat kewirausahaan desa. Pendampingan BUMDes berkontribusi dalam memperkuat ketahanan pangan berbasis komunitas dan membangun fondasi kemandirian ekonomi desa. Ketahanan pangan dan kemandirian ekonomi desa.

Usaha pangan desa memiliki peluang besar melalui optimalisasi bahan lokal, pengembangan produk olahan (nilai tambah), dan pemanfaatan digitalisasi pemasaran (Amrullah & Marsahip, 2025). Namun, tantangan utama meliputi keterbatasan teknologi, akses modal, kurangnya infrastruktur pemasaran, serta alih fungsi lahan dan perubahan iklim.

Pengembangan Usaha Pangan di Pedesaan memiliki peluang yang besar diantaranya dengan melimpahnya bahan baku produksi dengan harga bersaing sehingga memungkinkan untuk mendapatkan margin keuntungan yang lebih besar. Sinergi dengan Kelembagaan Desa menjadi hal yang sangat berperan terutama dari sisi permodalan dan peningkatan

infrastruktur pangan dengan memanfaatkan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes).

Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat tentang gaya hidup sehat dan makanan bergizi, serta kesadaran akan efek pestisida terhadap keamanan pangan dan keamanan lingkungan, maka terjadi peningkatan permintaan produk-produk pangan organik yang bisa merespon trend positif di pasaran (Tri Pujiana et al., 2025). Salah satu peluang yang cukup besar yaitu melakukan diversifikasi usaha dengan memanfaatkan sektor agrowisata berupa perpaduan industri sektor pertanian dengan wisata kuliner lokal.

Komoditas unggulan terutama sektor pertanian di desa perlu mendapat perhatian serius dari semua pemangku kepentingan. Pemetaan potensi dan analisis pasar yang tepat berguna dalam perencanaan dan pengembangan bisnis yang akan dilakukan serta menentukan arah dan kebijakan usaha yang akan diambil (Nur Rosidah et al., 2024).

Suatu komoditas dapat dijadikan sebagai komoditas unggulan suatu daerah jika komoditas tersebut bisa menjadi penggerak utama pembangunan ekonomi di daerah itu, mampu menyerap tenaga kerja dan dapat bertahan dalam jangka panjang (Joko Tri Brata et al., 2023).

Dalam menentukan jenis usaha ataupun inovasi pangan yang sesuai tentu perlu strategi dalam peningkatan nilai tambah produk pangan yang akan diangkat.

Untuk itu diperlukan beberapa pendekatan optimalisasi nilai tambah tersebut antara lain:

1. Menciptakan keistimewaan produk atau pembeda dengan produk lainnya (value proposition). Menjelaskan identitas dan informasi serta menonjolkan sisi keunggulan dari produk lain.
2. Meningkatkan kualitas bahan baku, proses produksi, ataupun inovasi produk yang belum dimiliki kompetitor.

3. Inovasi dalam kemasan/ disain produk dengan membuat kemasan yang lebih menarik secara visual, kepraktisan dalam penggunaan serta mampu menyampaikan branding yang baik pada konsumen.
4. Menetapkan harga jual yang berbasis nilai, bukan hanya berdasarkan harga produksi, namun harus mengedepankan value yang akan diterima oleh konsumen.
5. Pentingnya diversifikasi produk dengan memberikan varian produk baru ataupun menyempurnakan produk yang sudah ada.
6. Inovasi dalam strategi pemasaran melalui pemanfaatan media sosial, dengan menyampaikan informasi yang atraktif ataupun memberikan penawaran-penawaran yang menarik.
7. Memberikan layanan purna jual yang memuaskan konsumen contohnya dengan kemudahan proses klaim, jaminan/ garansi, dll.

Poin-poin penting dalam usaha meningkatkan nilai tambah produk pangan antara lain bertujuan untuk peningkatan nilai ekonominya yaitu harga jual produk, misalnya pengolahan jagung menjadi keripik tortila (Heppi Syofya, 2024). Selain itu, peningkatan nilai tambah untuk memperpanjang umur simpan seperti pengolahan produk melalui pembekuan, pengeringan atau juga proses vacuum. Diversifikasi produk juga menjadi salah satu usaha dalam peningkatan nilai tambah.

Kebijakan hilirisasi produk pangan bertujuan untuk mengurangi ekspor bahan mentah dengan cara meningkatkan nilai tambah, melalui pengolahan dan pemanfaatan sumber daya alam. Selain itu diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja, serta memperkuat daya saing industri nasional di pasar global (Yuliani et al., 2025).

20.2 Model Bisnis dan Manajemen Usaha Pangan

Kemampuan dalam berinovasi sangat menentukan keberhasilan usaha termasuk usaha pangan di pedesaan. Inovasi ini tidak hanya dari hulu/budidaya namun juga dalam mengolah dan memasarkan produk. Model bisnis yang dipilihpun bisa beragaam, mulai dari pendekatan model bisnis tradisional maupun model bisnis modern. Pada pendekatan model bisnis modern dikenal Business Model Canvas (BMC). BMC ini berguna untuk merancang maupun memvisualisasikan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu bisnis (Ramli et al., 2024).

BMC dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Customer Segment merupakan calon konsumen berupa kelompok orang atau organisasi yang ingin dibidik namun tetap memperhatikan kebutuhan konsumen.
2. Value Proposition adalah keunggulan yang dimiliki produk dan layanan yang ditawarkan pada konsumen.
3. Customer Relationship berupa hubungan yang dibangun antara produsen dan konsumen yang bertujuan untuk mendapatkan kesetiaan konsumen.
4. Channel adalah cara dan bagaimana produsen berkomunikasi dan menjangkau konsumen.
5. Revenue Stream adalah sumber penerimaan uang sebagai hasil usaha.
6. Key Resource adalah sumber daya utama berupa aset yang dibutuhkan dalam membuat model bisnis.
7. Key Activities adalah kegiatan utama yang dilakukan dalam usaha, seperti produksi, distribusi, dan pelayanan.

8. Key Partners adalah mitra-mitra yang terlibat dalam menjalankan usaha.
9. Cost Structure adalah struktur biaya yang yang dikeluarkan mencakup semua biaya yang digunakan untuk melakukan kegiatan bisnis.

Dalam melakukan manajemen usaha pangan terdapat beberapa proses penting yaitu perencanaan (planning), pengorganisasian (organizing), pelaksanaan (actuating), dan pengawasan (controlling) terhadap sumber daya, baik sumber daya manusia, material, modal, maupun metode untuk mencapai tujuan bisnis.

Bisnis di bidang pangan memiliki keunikan tersendiri karena terkait dengan kesehatan dan keamanan pangan, perubahan trend dll.

Berikut adalah beberapa komponen utama dalam menjalankan bisnis usaha pangan:

1. Perencanaan (Planning)
Kegiatan ini merupakan pondasi utama untuk memulai usaha, tercakup didalamnya berupa riset pasar, konsep produk, analisis finansial serta strategi pemasaran
2. Pengorganisasian (Organizing)
Berupa kegiatan penyusunan atau mengatur segala sumber daya agar usaha berjalan sesuai rencana, termasuk struktur tim kerja, pembuatan Standard Operasional Procedure (SOP), manajemen pengaturan bahan baku/ stok produksi.
3. Pelaksanaan dan Produksi (Actuating)
Proses mengubah bahan mentah menjadi produk jadi, pengadaan bahan baku dan bahan penunjang, pengendalian kualitas (quality control).
4. Pengawasan (Controlling): Pengawasan ditujukan untuk memastikan usaha tetap pada jalurnya dan mengantisipasi

kerugian. Pengawasan ini baik dari aspek keuangan, pengendalian risiko serta evaluasi produk.

Dalam sebuah penelitian yang membahas tentang pengaruh kemampuan manajemen terhadap kinerja bisnis dapat dijelaskan bahwa kemampuan manajemen berpengaruh kuat terhadap peningkatan kinerja dan mengindikasikan bahwa dari semua faktor-faktor yang memengaruhi kinerja bisnis pada sebuah IKM pangan sebagian besar ditentukan oleh bagaimana penerapan proses kemampuan manajemen (Hasim et al., 2022)

20.3 Strategi Keberlanjutan dan Pengembangan Usaha Pangan Desa

Salah satu alasan utama pentingnya menyusun strategi dalam menjalankan bisnis adalah untuk mampu beradaptasi dengan cepat terhadap semua perubahan, misalnya perubahan teknologi. Oleh karena itu, perlu strategi yang fleksibel dan responsif untuk mengatasi tantangan dan memanfaatkan peluang yang ada. Strategi bisnis juga berguna untuk menciptakan arah kedepannya (Khumaira et al., 2024).

Dalam menjamin keberlanjutan usaha pangan di desa perlu dipertimbangkan strategi-strategi yang dapat dijalankan antara lain dengan penguatan kelembagaan. Dalam upaya peningkatan kelembagaan ini juga terkait beberapa elemen penting diantaranya kompetensi Sumber Daya Manusia perangkat desa, dapat dilakukan dengan pelatihan-pelatihan peningkatan profesionalisme, pelatihan administrasi keuangan dan kemampuan pengelolaan/ manajerial.

Keberadaan lembaga-lembaga kemasyarakatan seperti Badan Permusyawaratan Desa, RT, RW, PKK, Kelompok Wanita Tani (KWT) dan Karang Taruna perlu lebih dimaksimalkan dalam usaha pengembangan pangan. BUMDes harus memberikan pendampingan dalam usaha optimalisasi potensi desa terutama pada sumber-sumber pangan unggulan,

membangun kolaborasi antar desa sehingga mampu meningkatkan Pendapatan Asli Desa (PADes).

Keterlibatan aktif masyarakat pada saat Musyawarah Perencanaan Pembangunan Desa (Musrembangdes) diharapkan memberikan arah yang jelas dalam pembangunan desa dari segala aspek.

Dari aspek legalitas maupun pengelolaan aset usaha pengembangan usaha pangan desa diharapkan adanya pendampingan hukum dari stakeholder terkait sehingga tercipta keamanan dan kenyamanan dalam menjalankan usaha tanpa dibayangi oleh kekhawatiran terkait aturan hukum dan legalitas yang berlaku.

Penguatan kelembagaan dengan penerapan sistem digitalisasi melalui penerapan teknologi informasi sudah memungkinkan untuk diterapkan walaupun ditingkat desa dengan keberadaan internet masuk desa.

Dari segi pelaku usaha diharapkan juga mampu meningkatkan daya saing usaha pangan yang dijalankan dengan membuat strategi keberlanjutan dan pengembangan usaha seperti membuat analisis SWOT (Strengths and Weaknesses, Opportunities and Threats) untuk mengidentifikasi faktor-faktor secara sistematis sehingga dapat dirumuskan strategi pengembangan usaha kedepannya (Suherman et al., 2021).

Daftar Pustaka

- Aadil, R. M., Trif, M., Yıkımsı, S., & Rajoka, M. S. R. (2023). Editorial: Current trends in food processing and nutrition to mitigate nutritional health issues. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1278469>
- Abdullahi, N., & Dandago, M. A. (2021). Hurdle Technology: Principles and Recent Applications in Foods. *Indonesian Food and Nutrition Progress*, 17(1), 6. <https://doi.org/10.22146/ifnp.52552>
- Achmadi, S. S. (1990) *Bahan Pengajaran Kimia Kayu*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Adeyeye, S. A. O., Ashaolu, T. J., & Babu, A. S. (2022). Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*, 1–8. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2537>
- Adi, R., & Wati, M. (2022). Pengembangan produk fermentasi dari biji-bijian lokal di Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Agroekologi Indonesia*, 17(3), 201–215.
- Afifah, D. N. (2024). Blood pressure- lowering and anti-obesity potential of sacha inchi tempeh (plukenetia volubilis): Study in metabolic syndrome rats. *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, 13(3), 6640–6647. <https://doi.org/10.55522/jmpas.v13i3.6537>
- Afifah, D. N., Pratiwi, S. N., Al-Baarri, A. N., & Sugianto, D. N. (2023). Health Benefits Indonesian Fermented Food of Tempeh Gembus Upon

- National Readiness for Sustainable Development Goals Achievement. In A. Al-Baarri & D. Afifah (Eds.), *Food Sustainability, Environmental Awareness, and Adaptation and Mitigation Strategies for Developing Countries* (pp. 41-61). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5629-3.ch003>
- Ağagündüz, D., Ayakdaş, G., Katırcıoğlu, B., & Özoğul, F. (2025). Advances in Non-Thermal Food Processing: a Comprehensive Approach to Nutrient Retention, Food Quality, and Safety. *Sustainable Food Technology*, 3(5), 1284. <https://doi.org/10.1039/d5fb00136f>
- Aggarwal, B. B. and Harikumar, K. B. (2009) 'Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against various diseases', *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41(1), pp. 40–59.
- Agmalaro, M.A., Kustiyo, A. and Akbar, A.R. (no date) 'Identifikasi Tanaman Buah Tropika Berdasarkan Tekstur Permukaan Daun Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Tropical Fruit Plants Identification Based on Leaf Surface Texture Image Using Artificial Neural Network', 2(Ashari 2006).
- Akanni, S. F., Oke, M. O., & Olatunde, S. J. (2024). Non-thermal Food Processing Technologies for Reducing Microbial Loads. *Engineering Science Letter*, 3(3), 117. <https://doi.org/10.56741/esl.v3i03.643>
- Al-Najjar, S. Z., Al-Sharif, Z. T., Onyeaka, H., Miri, T., Obileke, K., & Anumudu, C. (2023). Advances in Mass Transfer and Fluid Flows in Non-Thermal Food Processing Industry – A Review. *Food Production Processing and Nutrition*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00162-z>
- Amalia, R. N., Rahmiwati, A., Fajar, N. A., & Sari, N. (2024). Preferensi pangan fungsional dan implikasinya terhadap kesehatan masyarakat: Tinjauan sistematis. *Jurnal SAGO Gizi Dan Kesehatan*, 5(2), 456. <https://doi.org/10.30867/gikes.v5i2.1654>

- Amalraj, A., Pius, A., Gopi, S., & Gopi, S. (2017). Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(2), 205–233. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.05.005>
- Amin, M., Rahman, M., & Islam, T. (2025). Functional foods and bioactive compounds: Health benefits and future perspectives. *Journal of Food Science and Nutrition*, 12(1), 45–58.
- Ammari, A., & Schroen, K. (2018). Flavor Retention and Release from Beverages: A Kinetic and Thermodynamic Perspective. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(38), 9869–9881. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04459>
- Ammelia, S. M., Retnosari, R., Utomo, Y., Sukarianingsih, D., & Wonorahardjo, S. (2020). The changing profiles of organosulfuric compounds during black garlic processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 475(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012037>
- Amrullah, L., & Marsahip, M. (2025). Meningkatkan Ketahanan Pangan melalui Pangan Lokal: Studi Kasus di Kecamatan Suralaga, Lombok Timur. 4(4), 207–2017.
- Antibiotik, P. and Ayam, P. (2019) 'PELUANG ZAT BIOAKTIF TANAMAN SEBAGAI ALTERNATIF IMBUHAN PAKAN ANTIBIOTIK PADA AYAM The Opportunities of Plants Bioactive Compound as an Alternative of Antibiotic Feed additive on Chicken', 38(2), pp. 96–104.
- AOAC INTERNATIONAL. (2019). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (21st ed.). AOAC INTERNATIONAL.
- Arief, S., & Santosa, D. (2021). Pengurangan limbah pangan melalui teknologi pengawetan alami di Sumatera Barat. *Jurnal Agribisnis Nasional*, 15(2), 117–130.

- Arifin, M., Prabowo, D., & Kurniawan, Y. (2024). Digitalisasi proses pengeringan pangan tradisional berbasis smartphone. *Jurnal Teknologi Pangan*, 16(1), 45–58.
- Arifin, Z., Pratiwi, N. A., & Brata, B. D. (2021). Persepsi Konsumen Terhadap Makanan Organik Dan Pembentukan Strategi Business Model Canvas Dalam Membuka Gerai Makanan Organik Di Kota Surabaya. *Jurnal Ilmu Manajemen*, 9(4), 1461–1476.
- Ariga, T., & Seki, T. (2006). Antithrombotic and anticancer effects of garlic-derived sulfur compounds: A review. *BioFactors*, 26(2), 93–103. <https://doi.org/10.1002/biof.5520260201>
- Assan, N. (2023). Socio-Cultural, Economic, and Environmental Implications for Innovation in Sustainable Food in Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1192422>
- Aulia, R., Prasetyo, F., & Widodo, H. (2025). Blockchain-based traceability system for local food products in Indonesia: A case study on sweet potato flour from Papua. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Pertanian*, 17(1), 33–47.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2018). Peraturan Badan POM tentang Pedoman Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik untuk Industri Rumah Tangga (CPPB-IRT). BPOM RI.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2021). Pedoman keamanan pangan bagi industri rumah tangga pangan. BPOM RI.
- Badan Pusat Statistik. (2025). Statistik Indonesia 2025. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2022). Laporan evaluasi program kemitraan riset inovasi pangan lokal 2019–2022. BRIN Press.
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F. H., & Weickert, M. O. (2024). The health benefits of dietary fibre: Beyond glycaemic control. *Nutrients*, 16(3), 1–18.

- Barbosa-cánovas, G. V. (2003). Unit Operations in Food Engineering.
- Batoebara, M. U. (2021). Inovasi Pelayanan dalam Era Komuniaksi Digital. *Jurnal Prosiding*, 1(8), 29–38.
- Beck, U. (1992). Risk society: Towards a new modernity. Sage Publications.
- Berawi, K. N., Wahyudo, R., & Pratama, A. A. (2019). Potensi Terapi *Moringa oleifera* (Kelor) pada Penyakit Degeneratif. 3(1), 210–214. <https://doi.org/10.23960/JK>
- Biologi, D.P. (2023) ‘1 , 2 , 3 , 4’, 8(2).
- Bonilla, J., Vargas, F. C., de Oliveira, T. G., da Aparecida Makishi, G. L., & do Amaral Sobral, P. J. (2015). Recent patents on the application of bioactive compounds in food: A short review. *Current Opinion in Food Science*, 5, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.05.012>
- Borelli, T., Keim, A., Sujarwo, W., Koostanto, H., Pawera, L., Gullotta, G., Jalonen, R., Lombardo, A., & Hunter, D. (2024). Invisible Treasures: Assessing Indonesia’s Unique Agrobiodiversity for Food and Nutrition Security. *Sustainability* (Switzerland), 16(22). <https://doi.org/10.3390/su16229824>
- BPOM. (2022). Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan tentang label pangan olahan. <https://jdih.pom.go.id/download/rule/1341/1/2022>
- BPS. (2023). Sensus Pertanian - Jumlah Pengelola Usaha Pertanian Perorangan Tahun 2023.
- Brauch, J. E., Kroner, M., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2015). Studies into the Stability of 3-O-Glycosylated and 3,5-O-Diglycosylated Anthocyanins in Differently Purified Liquid and Dried Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) Preparations during Storage and Thermal Treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(39), 8705–8714. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03471>
- Brennan, J. G. (2006). Food Processing Handbook.

- Budi, I. M., & Paimin, F. R. (2005). Buah merah: Potensi dan manfaatnya bagi kesehatan. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Buhr, K., Pammer, C., & Schieberle, P. (2010). Influence of water on the generation of strecker aldehydes from dry processed foods. *European Food Research and Technology*, 230(3), 375–381. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1169-y>
- Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea—A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2), 79–99.
- Carlsen, M. H., dkk (2020). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(3), 1–11.
- Caroko, N. et al. (2025) “Thermal Behavior of Agricultural Waste in Microwave-assisted Pyrolysis: A Focus on Temperature Parameters,” *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 9(2), pp. 125–133. Available at: <https://doi.org/10.18196/jmpm.v9i2.29302>.
- Cencic, A., & Chingwaru, W. (2010). The role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health. *Nutrients*, 2(6), 611–625. <https://doi.org/10.3390/nu2060611>
- Chen, B.-H., & Inbaraj, B. S. (2019). Nanoemulsion and nanoliposome based strategies for improving anthocyanin stability and bioavailability. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051052>
- Chen, Z., Xu, R.-G., Chen, P., & Wang, Q. (2020). Potential Agricultural and Biomedical Applications of Cold Atmospheric Plasma-Activated Liquids With Self-Organized Patterns Formed at the Interface. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 48(10), 3455. <https://doi.org/10.1109/tps.2020.3019995>
- Chokumnoyporn, N., & Samakradhamrongthai, R. S. (2025). The Stability. In *Aroma and Flavor in Product Development: Characterization,*

- Perception, and Application (pp. 229–252).
https://doi.org/10.1007/978-3-031-62612-8_7
- Ciccacci, F., Orlando, S., Majid, N., & Marazzi, C. (2020). Epidemiological transition and double burden of diseases in low-income countries: The case of Mozambique. *Pan African Medical Journal*, 37(49), 1–8. <https://doi.org/10.11604/pamj.2020.37.49.23310>
- Cicilia, S., Basuki, E., Alamsyah, A., Yasa, I. W. S., Unsunnidhal, L., & Jannah, N. M. (2024). Characteristics of Millet Flour Fermented with Bimo CF at Different Fermentation Periods. *Pro Food*, 10(2), 139–148.
- Codex Alimentarius Commission. (2020). General principles of food hygiene CXC 1-1969 (Rev. 2020). FAO/WHO.
- Codex Alimentarius Commission. (2020). Hazard analysis and critical control point (HACCP) system and guidelines for its application (Annex to CXC 1-1969). FAO/WHO.
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2023). The role of polyphenols in human health and food systems: A review. *Nutrients*, 15(8), 1–22.
- Cvijanović, D., Ignjatijević, S., Tankosić, J. V., & Cvijanović, V. (2020). Do local food products contribute to sustainable economic development? Sustainability (Switzerland), 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072847>
- Dalsasso, R. R., Valencia, G. A., & Monteiro, A. R. (2022). Impact of drying and extractions processes on the recovery of gingerols and shogaols, the main bioactive compounds of ginger. *Food Research International*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111043>
- Damayanti, A.F. et al. (2026) “Pelatihan Pengolahan Bakso Berbasis Sumber Daya Lokal Untuk Meningkatkan Konsumsi Protein Hewani di Lampung Selatan,” *Jurdimas (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)* Royal, 9(1), pp. 95–102. Available at: <https://doi.org/10.33330/jurdimas.v9i1.4296>.

- Darmawan, G., Kusuma, R., & Lestari, S. (2023). Kemasan berbasis budaya: Pendorong daya saing produk pangan lokal di pasar internasional. *Jurnal Desain dan Pemasaran*, 11(2), 101–115.
- Das, D. et al. (2025) 'Bioactive Compounds - A New Era of Therapeutic Medicines', 13(3), pp. 112–121.
- Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2012) 'Biokonversi Bahan Berlignoselulosa menjadi Bioetanol Menggunakan *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cereviciae*', *Jurnal Perennial*, 8(1), pp. 43–51.
- Daud, M. (2010) *Produksi Bioetanol Dari Beberapa Jenis Kayu Tropis Melalui Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Secara Simultan*. Institut Pertanian Bogor.
- Daud, M. (2011) *Buku Ajar Hasil Hutan Bukan Kayu*. Makassar: Program Studi Kehutanan, Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Daud, M. (2014) *Bioenergi dari Bahan Non Pangan: Memanen Bensin dari Hutan untuk Ketahanan Energi Indonesia*. 1st edn. Makassar: Philosophia Press.
- Daud, M. (2025a) *Bioenergi dan Karbon Hutan: Potensi, Tantangan, dan Solusi Berkelanjutan*. Solok: PT Mafy Media Literasi Indonesia.
- Daud, M. (2025b) *Jejak Hijau Suku Bajo: Pemanfaatan Hasil Hutan untuk Kehidupan Bahari*. Purbalingga: Penerbit Binar Media Pratama.
- Daud, M. and Ma'rifah, A. (2025) *Energi Hutan: Jalan Menuju Pemulihan Diri dan Keseimbangan Hidup*. Purbalingga: Penerbit Binar Media Pratama.
- Daud, M. et al. (2021) 'Habitat Characteristics and Utilization of Edible Wild Mushrooms by Local Communities In The Protected Forest In Pinrang Regency, Indonesia', *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 886(2021), p. 012125. doi: 10.1088/1755-1315/886/1/012125.
- Daud, M. et al. (2024) 'Productivity and Yield of Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth) in Community Forest using Agroforestry Patterns in

- Tommo District, Mamuju Regency, West Sulawesi Province', IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 1379(2024), p. 012038.
- Daud, M. et al. (2025) *Aren untuk Kehidupan: Panduan Pemberdayaan Masyarakat Hutan Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit Filosofis.
- Daud, M., Hikmah and Hendri (2019) 'Produksi Dan Rendemen Pengolahan Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) Dari Hutan Rakyat Di Desa Bone-Bone Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang', *Jurnal Penelitian Kehutanan Bonita*, 1(1), pp. 9–15.
- Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2012) 'Bioethanol Production from Several Tropical Wood Species using Simultaneous Saccharification and Fermentation Processes', *Wood Research Journal*, 3(2), pp. 106–116.
- Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2013) 'Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.) Menjadi Bioetanol Dengan Perlakuan Pendahuluan Menggunakan Proses Kraft', *Jurnal Matoa*, 1(2), pp. 17–27.
- Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2014) 'Produktivitas Bioetanol dari Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dengan Perlakuan Enzimatis', *Jurnal Matoa*, 2(3), pp. 11–24.
- Deddy Ray Girsang. (2025). *Modernisasi Warisan: Sebuah Pendekatan Penciptaan Nilai Bersama untuk Inovasi Produk dan Daya Tahan Merek pada Usaha Kuliner Tradisional*. *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Kewirausahaan*, 4(1), 184–190. <https://doi.org/10.55606/jimak.v4i1.5123>
- Denoya, G. I., Szerman, N., & Vaudagna, S. R. (2024). Application of Direct and Indirect Non-thermal Plasma in the Development of Ready-to-Eat Foods. *Current Food Science and Technology Reports*, 2(1), 45. <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00018-8>

- Dewi, L.P., Yusup, I.R. and Siti, M. (2020) 'FAKTOR BERBUAHNYA POHON KURMA (*Phoenix dactylifera*) DI KAMPUS 2 UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG', 5(April), pp. 16–23.
- Diantari, N.G.A., Yunita, D., Tutonugi, M.A.A., Tokan, T.H., Oktavianti, T.K., Riswanto, F.D.O. & Setya, D. (2023). Potensi Tanaman Sukun (*Artocarpus altilis*) Sebagai Agen Antiinflamasi dan Antidiabetes. *MEDICINUS* 36(2): 31–40. <https://doi.org/10.56951/medicinus.v36i2.122>
- Dias, M. G., Camões, M. F. G. F. C., & Oliveira, L. (2014). Carotenoid stability in fruits, vegetables and working standards - Effect of storage temperature and time. *Food Chemistry*, 156, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.050>
- Dou, Z. et al. (2016) "Assessing U.S. food wastage and opportunities for reduction," *Global Food Security*. Elsevier, pp. 19–26. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.02.001>.
- Dwi, A., & Anjani, T. (2023). Dampak ekonomi dan sosial dari partisipasi perempuan dalam inovasi pangan lokal. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 16(1), 67–81.
- Dzalsabila, Z., Amawati, D., Nabila, R., Kalista, A., Ilahi, S., & Alpiranda, Y. (2026). Inovasi Produk Olahan Ubi Jalar sebagai Upaya Peningkatan Nilai Ekonomi Lokal. *Abdimas Awang Long*, 9(1), 148–154.
- E.A., M., & Eiss, A. H. A. (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/48678>
- Elizabeth, L., Machado, P., Zinocker, M., Baker, P., & Lawrence, M. (2020). Ultra-processed Foods and Health Outcomes: A Narrative Review. *Nutrients*, 12(7), 1955, doi: 10.3390/nu12071955.
- Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002>

- Esatbeyoglu, T., Ulbrich, K., Rehberg, C., Rohn, S., & Rimbach, G. (2015). Thermal stability, antioxidant, and anti-inflammatory activity of curcumin and its degradation product 4-vinyl guaiacol. *Food and Function*, 6(3), 887–893. <https://doi.org/10.1039/c4fo00790e>
- Falcomer, A. L., Riquette, R. F. R., Lima, B. R., Ginani, V. C., Zandonadi, R. P., & Raposo, A. (2019). Health benefits of green banana consumption: A systematic review. *Nutrients*, 11(6), 1–16.
- FAO & WHO. (2023). General Principles of Food Hygiene. <https://doi.org/10.4060/cc6125en>
- FAO. (2008). An Introduction to the Basic Concepts of Food Security. www.foodsec.org
- FAO. (2018). Sustainable Food Systems: Concept and Framework. <https://openknowledge.fao.org/items/8d2575e3-e701-4b1d-8e20-d9c83179c848>
- FAO. (2019). The State Of The World's Biodiversity For Food And Agriculture.
- Farahnaky, A., Majzoobi, M., & Gavahian, M. (2022). Emerging Non-Thermal Food Processing Technologies: Editorial Overview. *Foods*, 11(7), 1003. <https://doi.org/10.3390/foods11071003>
- Farhadi Chitgar, M., Aalami, M., Kadkhodae, R., Maghsoudlou, Y., & Milani, E. (2018). Effect of thermosonication and thermal treatments on phytochemical stability of barberry juice copigmented with ferulic acid and licorice extract. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.09.004>
- Farooq, S., Dar, A. H., Dash, K. K., Srivastava, S., Pandey, V. K., Ayoub, W. S., Pandiselvam, R., Manzoor, S., & Kaur, M. (2023). Cold Plasma Treatment Advancements in Food Processing and Impact on The Physiochemical Characteristics of Food Products. *Food Science and Biotechnology*, 32(5), 621. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01266-5>

- Fartoosi, Z., Kolahi, M., Heidarizadeh, F., & Goldson-Barnaby, A. (2025). The impact of thermal and non-thermal processing on the phytochemical characteristics and nutritional value of *Daucus carota* (carrots). *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100732>
- Fatihaturahmi, F., Yuliana, Y., & Yulastri, A. (2023). Literature Review: Penyakit Degeneratif: Penyebab, Akibat, Pencegahan Dan Penanggulangan. *JGK:Jurnal Gizi Dan Kesehatan*, 3(1), 63–72. <https://doi.org/10.36086/jgk.v3i1.1535>
- Fauziyah, I., & Rahman, M. (2024). Kolaborasi antara masyarakat adat dan peneliti dalam inovasi pangan berkelanjutan. *Jurnal Keanekaragaman Hayati dan Inovasi*, 10(2), 45–59.
- Feldmann, C., & Hamm, U. (2015). Consumers' perceptions and preferences for local food: A review. In *Food Quality and Preference* (Vol. 40, Number PA, pp. 152–164). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.09.014>
- Fellows, P. (2016). Food processing. *Nature*, 531(7593), 139. <https://doi.org/10.1038/531139a>
- Fengel, D. and Wegener, G. (1989) *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. 2nd Editio. Berlin, Germany: Walter de Gruyter.
- Ferrario, M., & Guerrero, S. (2017). Impact of A Combined Processing Technology Involving Ultrasound and Pulsed Light on Structural and Physiological Changes of *Saccharomyces Cerevisiae* Ke 162 in Apple Juice. *Food Microbiology*, 65, 83. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.012>
- Fiza, N., Erwin, Nazir, N., & Tanjung, F. (2025). Local Food Diversification as a Pillar of Sustainable Food Development: A Critical Review of Global and Local Perspectives. *AJARCODE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, 9(2), 270–279. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v9i2.712>

- Flach, M. (1997). Sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.). Rome: International Plant Genetic Resources Institute.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). Guide to good hygiene practices for beverage manufacturers. FAO Animal Production and Health Guidelines.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023b). The state of food security and nutrition in the world 2023. FAO. <https://www.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations., & World Health Organization. (2003). Assuring food safety and quality: Guidelines for strengthening national food control systems. FAO Food and Nutrition Paper No. 76.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations., & World Health Organization. (2019). Food safety risk analysis: A guide for national food safety authorities. FAO Food and Nutrition Paper.
- Food and Agriculture Organization. (2021). The World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization.
- Food and Agriculture Organization. (2025). The State of Food and Agriculture 2025: Addressing Land Degradation Across Landholding Scales. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gangakhedkar, P. S., Deshpande, H. W., & Tör, G. (2025). Fermentation of Fruits and Vegetables: Bridging Traditional Wisdom and Modern Science for Food Preservation and Nutritional Value Improvements. 1–31.
- Garza-Juárez, A., Pérez-Carrillo, E., Arredondo-Espinoza, E. U., Islas, J. F., Benítez-Chao, D. F., & Escamilla-García, E. (2023). Nutraceuticals and

- Their Contribution to Preventing Noncommunicable Diseases. *Foods*, 12(17), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods12173262>
- Gazda, P., & Glibowski, P. (2024). Advanced Technologies in Food Processing—Development Perspective. *Applied Sciences*, 14(9), 3617. <https://doi.org/10.3390/app14093617>
- Ghanbari, F., Hasani, S., Aghili, Z. S., & Asgary, S. (2024). The potential preventive effect of probiotics, prebiotics, and synbiotics on cardiovascular risk factors through modulation of gut microbiota: A review. *Food Science & Nutrition*, 12(7), 4569–4580.
- Ghnimi, S., Nikkhah, A., Dewulf, J., & Haute, S. V. (2021). Life Cycle Assessment and Energy Comparison of Aseptic Ohmic Heating and Appertization of Chopped Tomatoes with Juice. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92211-1>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491–502.
- Gómez, P. L., Welte-Chanes, J., & Alzamora, S. M. (2011). Hurdle Technology in Fruit Processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2(1), 447. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022510-133619>
- Grace, D. (2015). Food safety in low and middle income countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 10490–10507.
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118.

- Granato, D., Barba, F.J., Bursac, K.D., Lorenzo, J.M. Cruz, A.G. & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 25,11, 93-118, doi: 10.1146/annurev-foof-032519-051708.
- Grunert, K. G., & Wills, J. M. (2007). A review of European research on consumer response to nutrition information on food labels. In *Journal of Public Health* (Vol. 15, Number 5, pp. 385–399). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s10389-007-0101-9>
- Gunjević, V., Majerić Musa, M., Zurak, D., Svečnjak, Z., Duvnjak, M., Grbeša, D., & Kljak, K. (2024). Carotenoid degradation rate in milled grain of dent maize hybrids and its relationship with the grain physicochemical properties. *Food Research International*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113909>
- Hapsani, A. (2025). “ Dadih ” Makanan Lokal Punya Potensi : Yuk , Sehat dengan Inovasi Produk Pangan Fungsional Probiotik ! Tahukah Kamu Makanan Lokal Probiotik “ Dadih ” Itu ? Kenali 5 Manfaat “ Dadih ” untuk Kesehatan Tubuh. *Dietpartner.Id*. <https://dietpartner.id/dadih-makanan-lokal-punya-potensi-yuk-sehat-dengan-inovasi-produk-pangan-fungsional-probiotik/>
- Harahap, R. E., Siregar, M., & Putri, D. A. (2021). Fermentasi rumput laut sebagai inovasi pangan fungsional: Studi kasus di Indonesia. *Jurnal Bioteknologi Pangan Indonesia*, 12(2), 113–124.
- Haris, R., Setiawan, B., & Wijaya, T. (2021). Efisiensi tungku bioflok berbahan bakar biomassa lokal pada pengolahan ikan. *Jurnal Agroindustri*, 12(3), 110–121.
- Harry T. Lawless, H. H. (2024). *Sensory Evaluation of Food* . In *Food Science Text Series*.
- Hartono, E., & Sulisty, M. (2019). Agroforestri sebagai solusi adaptasi perubahan iklim dalam produksi pangan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 10(1), 45–56.

- Hasan, M. U., Singh, Z., Muhammad, H., Shah, S., Woodward, A., & Yamoah, E. A.-. (2025). Modified atmosphere packaging and melatonin application alleviates chilling injury in ' Fuyu ' persimmon fruit by reducing ethylene production , mitigating ROS accumulation , and maintaining antioxidant system. *Food Packaging and Shelf Life*, 48(January), 101458. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.101458>
- Hasim, R., Mendro, A. Y., & Niode, I. Y. (2022). Pengaruh Kemampuan Manajemen Terhadap Kinerja Bisnis IKM Pangan Di Kabupaten Bone Bolange (Studi Kasus Pada Industri Gula Aren Kecamatan Bulango Ulu). *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Bisnis*, 5(2), 860–867.
- Hassoun, A., Jagtap, S., Trollman, H., García-García, G., Abdullah, N. A., Gökşen, G., Bader, F., Özoğul, F., Barba, F. J., Cropotova, J., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2022). Food Processing 4.0: Current and Future Developments Spurred by The Fourth Industrial Revolution. *Food Control*, 145, 109507. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109507>
- Hazarika, U., & Gosztola, B. (2020). Lyophilization and its Effects on the Essential Oil Content and Composition of Herbs and Spices - A Review. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 19(4), 467–473. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0853>
- Hendarto, A., Yulia, R., & Pranoto, Y. (2023). Pengembangan teknologi tepung ubi kayu tahan panas untuk industri pangan lokal. Penerbit Agroindustri Nusantara.
- Heppi Syofya. (2024). Analisis Nilai Tambah untuk Meningkatkan Keberlanjutan Rantai Pasok Agroindustri Kopi di Kabupaten Kerinci. *Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(9), 4556–4568.
- Hernández-Torres, C. J., dkk (2021). Recent Trends and Technological Development in Plasma As An Emerging and Promising Technology for Food Biosystems. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 1957. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.023>

- Herr, I. and Büchler, M. W. (2010) 'Dietary constituents of broccoli and other cruciferous vegetables: Implications for prevention and therapy of cancer', *Cancer Treatment Reviews*, 36(5), pp. 377–383.
- Hidayat, A., & Suryani, L. (2017). Sistem pengelolaan pangan berbasis ekosistem masyarakat adat di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Etnologi dan Konservasi*, 8(1), 112–127.
- High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2017). Nutrition and food systems. HLPE Report No. 12. Committee on World Food Security.
- Hikmah and Daud, M. (2025) Agrosylvoapiari Berbasis Landscape: Inovasi Pengelolaan Hutan Desa yang Holistik dan Berkelanjutan. Solok: PT Mafy Media Literasi Indonesia.
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597.
- Holst, J. J., Gribble, F., Horowitz, M., & Rayner, C. K. (2018). Roles of the gut hormones GLP-1 and PYY in appetite regulation and obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 593–607.
- Hou, A., Chen, P., Shi, A., Zhang, B., & Wang, Y. J. (2009). Sugar variation in soybean seed assessed with a rapid extraction and quantification method. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 484–492.
- Hurdle Technology in Fruit Processing. (2016). In CRC Press eBooks (p. 131). Informa. <https://doi.org/10.1201/9781315370132-15>
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods. (2011). *Microorganisms in foods 8: Use of data for assessing process control and product acceptance*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9374-8>

- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 8589:2007 Sensory analysis—General guidance for the design of test rooms*. Author.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 11136:2014 Sensory analysis—Methodology—General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area*. Author.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 6658:2017 Sensory analysis—Methodology—General guidance*. Author.
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO 8586:2023 Sensory analysis—Selection and training of sensory assessors*. Author.
- Istiqomah, S.P., Dian, M.P. and Kusumawati, E. (2022) Pertanian Terpadu Berbasis Bebas Limbah. Edited by A. Serdani. Pamekasan: Duta Media Publishing.
- Jacob, J. N. (2016). Comparative Studies in Relation to the Structure and Biochemical Properties of the Active Compounds in the Volatile and Nonvolatile Fractions of Turmeric (*C. longa*) and Ginger (*Z. officinale*). In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 48, pp. 101–135). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63602-7.00004-7>
- Jadhav, H. B., & Choudhary, P. (2024). Emerging techniques for the processing of food to ensure higher food safety with enhanced food quality: a review. *Discover Food*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00089-5>
- Jadhav, H. B., Annapure, U. S., & Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal Technologies for Food Processing. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090>
- Jensen, J. D., Christensen, T., Denver, S., Ditlevsen, K., Lassen, J., & Teuber, R. (2019). Heterogeneity in consumers' perceptions and demand for local (organic) food products. *Food Quality and Preference*, 73, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.002>

- Jiang, H., Lin, Q., Shi, W., Yu, X., & Wang, S. (2022). Food Preservation by Cold Plasma from Dielectric Barrier Discharges in Agri-Food Industries. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1015980>
- Jo, H., & Surh, J. (2016). Effects of cooking methods with different heat intensities on antioxidant activity and physicochemical properties of garlic. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 45(12), 1784–1791. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2016.45.12.1784>
- Joko Tri Brata, La Ode Bariun, Abdul Nashar, I Wayan Puguh, & Sufrianto. (2023). Kebijakan Daerah Pengelolaan dan Pengembangan Komoditas Unggulan Pertanian Sulawesi Tenggara. *NeoRespublica : Jurnal Ilmu Pemerintahan*, 5(1), 184–197.
- Journal, I.I. (2021) 'IJIS Indonesian Journal on Information System e- ISSN 2548-6438 p-ISSN 2614-7173', 6(April).
- Jusman, N. H., Wikandari, P. R., & Saputri, R. D. (2025). Kajian Aktivitas Antioksidan Pada Umbi-Umbian Melalui Fermentasi. 7(2), 219–234.
- K Babalola, O. O., Adubiaro, H. O., & Ikusika, O. (2010). The effect of some processing methods on the vitamin C content of sweet and Irish potato. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(4), 679–681.
- Kadir, H. et al. (2024) 'Pemanfaatan Hasil Hutan Bukan Kayu Sebagai Sumber Pangan Pada Hutan Rakyat Pola Agroforestry Di Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa', *Forest Services*, 2(2), pp. 46–60.
- Karim, A. A., Tie, A. P. L., Manan, D. M. A., & Zaidul, I. S. M. (2008). Starch from the sago palm—Properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(3), 215–228.
- Katz, D. L., Doughty, K., & Ali, A. (2011). Cocoa and chocolate in human health and disease. *Antioxidants & Redox Signaling*, 15(10), 2779–2811.

- Kaur, K., Kalsi, B. S., Zalpouri, R., Potdar, P. P., Sharma, S. R., Alam, M. S., & Ravi, R. (2025). Advancements in thermal and nonthermal process-assisted osmotic dehydration: A comprehensive review on current technologies for enhancing the quality of foods. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 17(3), 319–340. <https://doi.org/10.15586/qas.v17i3.1566>
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. (2024). Laporan kinerja Kementerian Perdagangan tahun 2024. Kementerian Perdagangan RI.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2021). Laporan program pemberdayaan petani dan pengelolaan sumber daya air. Kementerian Pertanian RI.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2024). Outlook komoditas pertanian 2024. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian RI.
- Khalid, W., Maggiolino, A., Kour, J., Arshad, M. S., Aslam, N., Afzal, M. F., Meghwar, P., Zafar, K.-W., Palo, P. D., & Korma, S. A. (2023). Dynamic Alterations in Protein, Sensory, Chemical, and Oxidative Properties Occurring in Meat During Thermal and Non-Thermal Processing Techniques: A Comprehensive Review. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1057457>
- Kharat, M., Du, Z., Zhang, G., & McClements, D. J. (2017). Physical and Chemical Stability of Curcumin in Aqueous Solutions and Emulsions: Impact of pH, Temperature, and Molecular Environment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(8), 1525–1532. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04815>
- Khoerunisa, T. K., Lokal, P., & Kayu, U. (2020). Review : Pengembangan Produk Pangan Fungsional Di Indonesia Berbasis Bahan Pangan Lokal Unggulan. 2(1), 49–59.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients,

- and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1–21.
- Khumaira, M. A. A., Ramadanti, A. O., Damayanti, D. P., Rahmadabi, O. P., Hidayat, R., & Ikaningtyas, M. (2024). Strategi Dalam Perencanaan Dan Pengembangan Bisnis. *CEMERLANG: Jurnal Manajemen Dan Ekonomi Bisnis*, 4(2), 277–287.
- Kimia, I. et al. (2017) 'Senyawa Fenolik dari Daun Tanaman Kalanchoe prolifera (Crassulaceae) Phenolic Compounds from The Leaf of Kalanchoe prolifera (Crassulaceae) Plant', 3(1), pp. 27–34.
- Kitessa, D. A. (2024). Review on effect of fermentation on physicochemical properties , anti- nutritional factors and sensory properties of cereal-based fermented foods and beverages.
- Knez, E., & Kadac-czapska, K. (2023). Effect of Fermentation on the Nutritional Quality of the Selected Vegetables and Legumes and Their Health Effects.
- Konkor, I., & Kuuire, V. Z. (2023). Epidemiologic transition and the double burden of disease in Ghana: What do we know at the neighborhood level? *PLoS ONE*, 18(2 February). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281639>
- Kovács, I., Lendvai, M. B., & Beke, J. (2022). The Importance of Food Attributes and Motivational Factors for Purchasing Local Food Products: Segmentation of Young Local Food Consumers in Hungary. *Sustainability* (Switzerland), 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063224>
- Krzykowski, A., Rudy, S., Polak, R., Biernacka, B., Krajewska, A., Janiszewska-Turak, E., Kowalska, I., Żuchowski, J., Skalski, B., & Dziki, D. (2024). Drying of Red Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.): Process Kinetics, Color Changes, Carotenoid Content and Phenolic Profile. *Molecules*, 29(21). <https://doi.org/10.3390/molecules29215164>

- Kumar, H., Guleria, S., Kimta, N., Nepovimova, E., Taneja, A., Dhanjal, D. S., & Malik, T. (2025). Black carrot: From underutilized crop to a new avenue in functional/nutraceutical enrichment applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21(December 2024), 101900. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101900>
- Kumar, S. and Haokip, S.W. (2024) "History , Importance and Scope of Post Harvest Management of Horticultural Crops," (March).
- Kumari, C., Choudhary, N., Sinha, J., & Rai, A. K. (2025). Application of fermentation technologies in enhancing food nutrition and flavor profiles. 9, 1498–1503.
- Kurniati, W. D. (2020). Keamanan produk brem salak padat. *Journal of Islamic Studies and Humanities*, 5(1), 61–71.
- Kusuma, A., & Fajri, M. (2022). The power of storytelling in local food branding: Evidence from rural Indonesia. *Jurnal Komunikasi Pemasaran*, 8(3), 67–78.
- Kusuma, I. W., & Wulandari, D. (2019). Inovasi produk olahan kelapa: Fermentasi dan nilai nutrisi. *Jurnal Teknologi Pangan*, 14(1), 45–52.
- Laili, F., Ningrum, A. T. M., Agustini, D. N. T., Hasanah, R. F., Safitri, D. N., Anam, M. H., ... & Zuhroh, N. (2025, November). Inovasi Olahan Umbi dan serealial dalam Produk Mocawon: Kombinasi Tradisional dan Modern: Innovation in Processed Root Vegetables and Cereals in Mocawon Products: A Combination of Traditional and Modern. In *NaCIA (National Conference on Innovative Agriculture)* (pp. 320–330).
- Lao, F., & Giusti, M. M. (2017). The effect of pigment matrix, temperature and amount of carrier on the yield and final color properties of spray dried purple corn (*Zea mays* L.) cob anthocyanin powders. *Food Chemistry*, 227, 376–382. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.091>

- Lau, E. V., Gan, S., & Ng, H. K. (2010). Extraction Techniques for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2010, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2010/398381>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). **Sensory evaluation of food: Principles and practices** (2nd ed.). Springer.
- Leckel, A., Veilleux, S., & Dana, L. P. (2020). Local Open Innovation: A means for public policy to increase collaboration for innovation in SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119891>
- Lee, B. H., Kim, D., Kang, S., Kim, M.-R., & Hong, J. (2010a). Changes in the chemical stability and antioxidant activities of curcuminoids under various processing conditions. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 42(1), 97–102.
- Lee, B. H., Kim, D., Kang, S., Kim, M.-R., & Hong, J. (2010b). Changes in the chemical stability and antioxidant activities of curcuminoids under various processing conditions. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 42(1), 97–102.
- Lee, S. E., Young, C. W., & Barkemeyer, R. (2026). How has the cost-of-living crisis impacted the transition to healthy diets from sustainable food systems? *Journal of Environmental Management*, 397, 128185. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2025.128185>
- Lema, A. A., Mahmood, N. H., Khandaker, M. M., & Abdulrahman, M. D. (2022). Roselle anthocyanin stability profile and its potential role in post-harvest deterioration: A review. *Plant Science Today*, 9(1), 119–131. <https://doi.org/10.14719/pst.1336>
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2015). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 12791–12835.

- Lestari, D., & Arifin, W. (2024). Viral marketing through social media: The case of indigenous food product from Papua. *Jurnal Media Digital dan Konsumen*, 15(1), 22–36.
- Lestari, E. G. (2025). Kandungan Nutrisi dan Gizi pada Sorgum untuk Mendukung Ketahanan Pangan. *Warta Agrostandar*, 1(3), 11–14.
- Lestari, O., Afriani, R., & Ratnasari, D. (2022). Makanan Fermentasi Lokal Wilayah Timur Kalimantan Barat. *Edumedia: Jurnal Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, 6(1).
- Lestari, S., & Suryana, D. (2025). Studi kasus tempe kacang bengkok: Inovasi pangan lokal dari Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 14(1), 88–102.
- Lestari, S., Nurdin, F., & Hapsari, L. (2019). Pengolahan air limbah dengan biofilter mikroba tanaman lokal pada usaha pangan mikro. *Jurnal Lingkungan dan Teknologi*, 9(4), 200–212.
- Lewerissa, K. B., dkk (2023). PELAKU UKM PANGAN DI SALATIGA. 2(2), 128–134.
- Li, M., Xu, H., Chen, H., Ding, F., Li, Q., Liu, Z., Wang, F., Jia, X., Wu, Y., Sun, Y., & Jin, S. (2025). Metabolomics and transcriptomics reveal the quality formation mechanism during the processing of black tea. *Npj Science of Food*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00488-7>
- Lisboa, H. M., Pasquali, M. A. de B., Anjos, A. I. dos, Sarinho, A., Mélo, E. D. de, Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A. (2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*, 16(18), 8223. <https://doi.org/10.3390/su16188223>
- Liu, F., Rhim, H., Park, K., Xu, J., & Lo, C. K. Y. (2021). HACCP certification in food industry: Trade-offs in product safety and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 231, 107838. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107838>

- Liu, R. H. (2004) 'Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action', *The Journal of Nutrition*, 134(12), pp. 3479S–3485S.
- Lloyd, P., & van Wyk, J. (2011). Introduction to Extraction in Food Processing. Dalam N. Lebovka, E. Vorobiev, & F. Chemat (Ed.), *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry* (hlm. 1–24). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11241-2>
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2019). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 13(26), 140–147.
- Lopez-Martinez, L. X., & Garcia, H. S. (2015). Processing of Corn (Maize) and Compositional Features. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 329–336). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00039-1>
- Mahecha-rubiano, Y. R., Garavito, J., & Castellanos, D. A. (2024). Configuration of a combined active packaging system with modified atmospheres and antimicrobial control to preserve fresh strawberry fruits. *Food Packaging and Shelf Life*, 46(July), 101390. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101390>
- Mahendran, R., Maqsood, S., & Siliveru, K. (2023). Editorial: Emerging Non-Thermal Technology Applications for Sustainable Food Processing. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1190320>
- Majid, V.M., Aji, A.S., Saloko, S., Aprilia, V., Seftina, D., & Wahyuningsih, I. (2025). Analisis Indeks Glikemik dan Sifat Fisik Beras Analog sebagai Alternatif Pangan Fungsional pada Penderita Diabetes Mellitus. *Amerta Nutrition*, 9(1SP), 21-30, doi: 10.20473/amnt.v9i1SP.2025.21-30.
- Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell Host & Microbe*, 23(6), 705–715.

- Martirosyan, D., & Singh, J. (2022). A new definition of functional food by FFC: What makes a new definition unique? *Functional Foods in Health and Disease*, 12(5), 203–209.
- Masilamani, S., Natarajan, V., & Mahendran, R. (2025). Recent Advances in Nonthermal Hurdle Approach in The Food Sector. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 17(2), 19. <https://doi.org/10.15586/qas.v17i2.1515>
- Maslahah, N., & Nurhayati, H. (2024). Manfaat kesehatan beberapa senyawa fitokimia. *Warta BSIP*, (3), 22.
- Matsufuji, H., Kido, H., Misawa, H., Yaguchi, J., Otsuki, T., Chino, M., Takeda, M., & Yamagata, K. (2007). Stability to light, heat, and hydrogen peroxide at different pH values and DPPH radical scavenging activity of acylated anthocyanins from red radish extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3692–3701. <https://doi.org/10.1021/jf063598o>
- Mba, O. I., Kwofie, E. M., & Ngadi, M. (2019). Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. *Heliyon*, 5(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01613>
- Mehta, K.A., Quek, Y.C.R. & Henry, C.J. (2023). Breadfruit (*Artocarpus altilis*): Processing, nutritional quality, and food applications. *Front. Nutr.* 10:1156155. doi: 10.3389/fnut.2023.1156155.
- Mensink, M. A., Frijlink, H. W., & Maarschalk, K. V. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130, 405–419.
- Menta, R., Rosso, G., & Canzoneri, F. (2022). Plant-Based: A Perspective on Nutritional and Technological Issues. Are We Ready for "Precision Processing"? *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878926>
- Menteri Pertanian. (2021). Tahun Baru 2021 Kementan Terus Perkuat Diversifikasi Pangan. Badan Pangan Nasional.

- Mia Erpinda, Fuan Dini Artha Manulang and Aulia Annas Mufti (2026) "Analisis Kelayakan Ekonomi dan Lingkungan Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Briket Biomassa," *Dampak*, 23(1), pp. 103–112. Available at: <https://doi.org/10.25077/dampak.23.1.103-112.2026>.
- Michel, M. R., Aguilar-Zárate, M., Martínez-Ávila, G. C. G., Campos, D. A., Gómez-García, R., Rojas, R., & Aguilar-Zárate, P. (2024). Curcumin encapsulation: A review on strategic approaches for preserving the bioactive prowess of food ingredients. In *Process Engineering in the Obtention and Preservation of Food Bioactive Ingredients* (pp. 141–160).
- Mirza Pratama, S., Amir, Z. and Wahyudi, I. (2025) Inovasi Pakan Konsentrat untuk Mendukung Kemandirian Pakan pada Kelompok Ternak Indah Sapi Potong, Desa Tanjung Selamat, Kabupaten Aceh Besar Concentrate Feed Innovation to Support Feed Independence in the Indah Sapi Potong Group, Tanjung Selamat Village, Aceh Besar Regency, Agustus. Available at: <http://jurnal.unpad.ac.id/mktt/index>.
- Mittal, S., Sawarkar, S., Doshi, G., Pimple, P., Shah, J., & Bana, T. (2023). Pharmacokinetics and bioavailability of nutraceuticals. *Industrial Application of Functional Foods, Ingredients and Nutraceuticals: Extraction, Processing and Formulation of Bioactive Compounds*, 725–783. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824312-1.00021-2>
- Mohammed, H. A., Sulaiman, G. M., Al-Saffar, A. Z., Mohsin, M. H., Khan, R. A., Hadi, N. A., Ismael, S. B., Elshibani, F., Ismail, A., & Abomughaid, M. M. (2025). Aromatic Volatile Compounds of Essential Oils: Distribution, Chemical Perspective, Biological Activity, and Clinical Applications. *Food Science and Nutrition*, 13(9). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70825>
- Monroy-Torres, R., Velázquez-Delgado, G., Carcaño-Valencia, E., & Vela-Gutiérrez, G. (2021). Meaning and Health Impact of Food: Historical and Ecological Analysis. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96371>

- Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(3), 181–194.
- Moreira, M. R., Álvarez, M. V., Màrtín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2016). Effects of Pulsed Light Treatments and Pectin Edible Coatings on The Quality Of Fresh-Cut Apples: A Hurdle Technology Approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 261. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7723>
- Morris, C., Brody, A. L., & Wicker, L. (2007). Non-Thermal Food Processing/Preservation Technologies: A Review with Packaging Implications. *Packaging Technology and Science*, 20(4), 275. <https://doi.org/10.1002/pts.789>
- Moskowitz, H. R., Beckley, J. H., & Resurreccion, A. V. A. (2012). **Sensory and consumer research in food product design and development** (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Motarjemi, Y. (2023). Food Safety Management: A Practical Guide for The Food Industry: The Story Behind the Book. In *Food Safety Management*, Academic Press, doi: 10.1016/B978-0-12-820013-1.00046-2.
- Mudryj, A. N., Yu, N., & Aukema, H. M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1197–1204.
- Muir, J. G., Shepherd, S. J., Rosella, O., Rose, R., Barrett, J. S., & Gibson, P. R. (2007). Fructan and free fructose content of common Australian vegetables and fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6619–6627.
- Mujumdar, A. S. (1997). Drying Fundamentals. Dalam C. G. J. Baker (Ed.), *Industrial Drying of Foods* (First, hlm. 7–29). Blackie Academic and Professional. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1123-2>

- Mujumdar, A. S., & Law, C. L. (2010). Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6), 843–852. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0353-1>
- Mulyani, R., Adi, P., & Yang, J. jacksi. (2022). Produk fermentasi tradisional indonesia berbahan dasar pangan hewani (daging dan ikan): a review. *Journal of Applied Agriculture, Health, and Technology*, 01(02), 34–48.
- Mulyani, R., Handayani, S., & Prasetyo, E. (2020). Optimasi solar dryer tertutup untuk pengeringan ikan dan buah lokal di pedesaan. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 14(2), 88–98.
- Mulyawanti, I., Syaefullah, E., & Amiarsi, D. (2018). Teknologi Pengemasan Atmosfir Termodifikasi (Modified Atmosphere Packaging/Map) Dan Vakum Pada Buah Durian. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v14n1.2017.1-10>
- Muradova, M., Proskura, A., Canon, F., Aleksandrova, I., Schwartz, M., Heydel, J.-M., Baranenko, D., Nadtochii, L., & Neiers, F. (2023). Unlocking Flavor Potential Using Microbial β -Glucosidases in Food Processing. *Foods*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/foods12244484>
- Muttaqin, S. Z., Napitupulu, A. R. M. R., & Mamangkey, J. (2025). Potensi Mikroorganisme dalam Makanan Fermentasi Lokal Indonesia sebagai Pangan Fungsional. *Journal of Natural Sciences*, 6(2), 177–187. <https://doi.org/10.34007/jonas.v6i2.864>
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Arshad, R. N., Radicetti, E., Tedeschi, P., Shahbaz, M., Walayat, N., Nawaz, A., Inam-Ur-Raheem, M., & Aadil, R. M. (2021). High-Pressure Processing for Sustainable Food Supply. *Sustainability*, 13(24), 13908. <https://doi.org/10.3390/su132413908>
- Nawaz, A., Irshad, S., Luo, X., Walayat, N., Harlina, P. W., Qin, Z., Afzaal, M., & Islam, F. (2025). Advances in Green Food Processing Technologies: Enhancing Efficiency, Safety, and Sustainability. *Food Control*, 181, 111715. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111715>

- Negi, R., Sharma, B., Jan, T., Kaur, T., Khan, S. S., Yadav, N., Rai, A. K., Rustagi, S., Shreaz, S., Kour, D., Ahmed, N., Negi, P., Chowdhury, S., Kapoor, M., Singh, S., & Yadav, A. N. (2025). Bioactive compounds as plant-based functional foods for human health: current scenario and future challenges. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 13(1), 1–23. <https://doi.org/10.7324/JABB.2024.180889>
- Nielsen, S. S. (Ed.). (2017). **Food analysis** (5th ed.). Springer.
- Nijum, M. R., Islam, M. Z., Chowdhury, A. M., Monalisa, K., & Jahan, M. I. (2025). Impact of Foam Mat Drying Methods on Physicochemical Properties, Anthocyanin Stability, and Probiotic Viability in Jamun (*Syzygium Cumini*) Juice Powders. *Journal of Food Science*, 90(12). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70730>
- Nikzadfar, M., Kazemi, A., Abooei, R., Abbaszadeh, R., Firouz, M. S., Akbarnia, A., & Rashvand, M. (2024). Application of Cold Plasma Technology on the Postharvest Preservation of In-Packaged Fresh Fruit and Vegetables: Recent Challenges and Development. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03380-6>
- No Title (2020).
- Nout, M. J. R., & Kiers, J. L. (2005). Tempe fermentation, innovation and functionality. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4), 789–805.
- Nugroho, A., & Fadillah, R. (2021). Sistem pengawasan mutu sebagai pendukung inovasi produk pangan lokal. *Jurnal Agroekoteknologi*, 9(3), 198–210.
- Nur Fitriana, I., Marwanti, & Pamadhi, H. (2023). The potential of growol as healthy traditional food: a mini review. *Food Research*, 7(2), 19–22. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(2\).482](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(2).482)
- Nur Rosidah, S., Rohman, A., Raya Telang, J., Kamal, K., Bangkalan, K., & Timur, J. (2024). Penerapan Aspek Pasar Dan Pemasaran Dalam Kelayakan Proyeksi Investasi. *Jurnal Media Akademik (Jma)*, 2(6).

- Nurhadi, A., & Kartika, R. (2018). Revitalisasi benih lokal dalam menghadapi perubahan iklim. *Jurnal Genetika dan Pertanian*, 7(4), 78–90.
- Obileke, K., Onyeaka, H., Miri, T., Nwabor, O. F., Hart, A., Al-Sharify, Z. T., Al-Najjar, S. Z., & Anumudu, C. (2022). Recent Advances in Radio Frequency, Pulsed Light, and Cold Plasma Technologies for Food Safety. *Journal of Food Process Engineering*, 45(10). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14138>
- OECD. (2011). *Managing risk in agriculture: Policy assessment and design*. OECD Publishing.
- Oner, M. E., Subaşı, B. G., Özkan, G., Esatbeyoglu, T., & Çapanoğlu, E. (2023). Efficacy of Cold Plasma Technology on The Constituents of Plant-Based Food Products: Principles, Current Applications, and Future Potentials. *Food Research International*, 172, 113079. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113079>
- Ortiz, D., Nkhata, S. G., Rocheford, T., & Ferruzzi, M. G. (2019). Steeping of biofortified orange maize genotypes for ogi production modifies pasting properties and carotenoid stability. *Agronomy*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy9110771>
- Padang, F. ebriani K., Nurfadillah, Musdalifa, & Ismail, I. (2024). Potensi Makanan Fermentasi Tradisional Khas Indonesia Penghasil Bakteri Asam Laktat. *JOURNAL OF NONCOMMUNICABLE DISEASES*, 4(1), 1–17.
- Paloma, C., Hariance, R., Raesi, S., & Putri, A. (2024). Farmers' risk perception, risk aversion on mangosteen production (case study in Pauh Thematic Village). *Buletin Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian*, 26(1), 1–8. <https://doi.org/10.37149/bpsosek.v26i1.949>
- Paravisini, L., & Guichard, E. (2016). Interactions between aroma compounds and food matrix. In *Flavour: From Food to Perception* (pp. 208–234). <https://doi.org/10.1002/9781118929384.ch9>

- Patras, A., Brunton, Nigel. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*, 21(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>
- Paucar-Menacho, L. M., Moreno-Rojo, C., & Chuqui-Diestra, S. R. (2024). Emerging Non-Thermal Technologies in The Food Industry: Advances and Potential Applications in Food Processing. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 65. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.006>
- Paulsen, P., Csadek, I., Bauer, A., Bak, K. H., Weidinger, P., Schwaiger, K., Nowotny, N., Walsh, J. L., Martines, E., & Smulders, F. J. M. (2022). Treatment of Fresh Meat, Fish and Products Thereof with Cold Atmospheric Plasma to Inactivate Microbial Pathogens and Extend Shelf Life. *Foods*, 11(23), 3865. <https://doi.org/10.3390/foods11233865>
- Peram, M. R., Jalalpure, S. S., Palkar, M. B., & Diwan, P. V. (2017). Stability studies of pure and mixture form of curcuminoids by reverse phase-HPLC method under various experimental stress conditions. *Food Science and Biotechnology*, 26(3), 591–602. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0087-1>
- Peryam, D. R., & Pilgrim, F. J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11*(Suppl.), 9–14.
- Picart-Palmade, L., Cunault, C., Chevalier-Lucia, D., Belleville, M., & Marchesseau, S. (2019). Potentialities and Limits of Some Non-thermal Technologies to Improve Sustainability of Food Processing. *Frontiers in Nutrition*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00130>
- Pittia, P., Piccone, P., & Martuscelli, M. (2015). Effect of sugars on the release of aroma compounds in model systems. In *Food Engineering Series* (pp. 499–507). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2578-0_45
- Piyarach, K., Nipawan, K., Chadapon, C., Daluwan, S., & Kunjana, R. (2020). Effect of Drying on β -Carotene, α Carotene, Lutein and Zeaxanthin Content in Vegetables and Its Application for Vegetable Seasoning.

- E3S Web of Conferences, 141.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102007>
- Pokharel, B. (2023). Advancements in Food Processing Technologies: Enhancing Safety, Quality, and Sustainability. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 7(6).
<https://doi.org/10.55041/ijserem23682>
- Prabowo, I., & Nugroho, A. (2016). Fermentasi vinasse limbah kelapa sebagai pupuk organik dan sumber energi. *Jurnal Bioteknologi*, 11(3), 130–139.
- Pramana, A., Yudhistira, B., Jayalaksana, M., Kurnia, D., Husnayain, N., & Pramitasari, R. (2025). Dadih, traditional fermented buffalo milk: a comprehensive review of the aspects of gastronomy, health benefits, and product development. *Journal of Ethnic Foods*, 12(1).
<https://doi.org/10.1186/s42779-024-00261-3>
- Prasad, S., & Aggarwal, B. B. (2011). Turmeric, the golden spice: From traditional medicine to modern medicine. *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*, 2, 263–288.
- Prasetyo, A. et al. (2026) “meningkatkan keberlanjutan pertanian organik melalui pelatihan sekolah lapang tani di kabupaten karanganyar, indonesia,” *Jurnal Abdi Insani*, 12(12), pp. 6605–6615. Available at: <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i12.3008>.
- Prasetyo, B., Sari, L., & Wijaya, T. (2020). Teknologi pengeringan vakum untuk tepung singkong: Pengaruh terhadap kualitas fisik dan nutrisi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(4), 201–212.
- Pratama, D., & Widodo, H. (2020). Implementasi irigasi cerdas di pertanian skala kecil. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Pertanian*, 12(3), 101–112.
- Pratiwi, R., & Purwestri, Y. A. (2017). Black rice as a functional food in Indonesia. *Functional Foods in Health and Disease*, 7(3), 182–194.
<https://doi.org/10.31989/FFHD.V7I3.310>

- Pratiwi, R., & Purwestri, Y. A. (2017). Black rice as a functional food in Indonesia. *Functional Foods in Health and Disease*, 7(3), 182–194. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v7i3.310>
- Priska, M. et al. (2018) 'REVIEW: ANTOSIANIN DAN PEMANFAATANNYA', 6, pp. 79–97.
- Purnomo, M., Siswantoro, A., Andriatmoko, N. D., Sunarto, B. P., Ma'ruf, Z. F., Izzati, E. M., & Hilmi, M. A. (2025). Pendampingan Rukun Pangan Bumdesa: Membangun Ketahanan Pangan dan Kemandirian Desa. *AGROINOTEK Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 006(01), 52–62.
- Puspitojati, E. (2024). The Potential of Telang Flower (*Clitoria ternatea*) in Functional Food Diversification in Indonesia. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 31(2), 79–85. <https://doi.org/10.55259/jiip.v31i2.36>
- Putra, I., & Dewi, V. (2019). Integrasi kearifan lokal dan teknologi modern dalam adaptasi perubahan iklim. *Jurnal Penelitian Pertanian*, 13(2), 55–67.
- Putri, N., & Hasan, M. (2018). Pengendalian suhu dan kelembaban dalam fermentasi alami produk pangan lokal. *Jurnal Ilmu Pangan Indonesia*, 10(1), 40–48.
- Putri, R., & Mulyani, D. (2020). Inovasi tempe dari kacang benguk: Bentuk adaptasi pangan berbasis lokal. *Jurnal Inovasi Pangan dan Teknologi*, 12(2), 133–145.
- Qian, C., Decker, E. A., Xiao, H., & McClements, D. J. (2012). Physical and chemical stability of β -carotene-enriched nanoemulsions: Influence of pH, ionic strength, temperature, and emulsifier type. *Food Chemistry*, 132(3), 1221–1229. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.091>
- Qin, P., Wu, L., Yao, Y., & Ren, G. (2013). Changes in phytochemical compositions, antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities during the processing of tartary buckwheat tea. *Food Research*

- International, 50(2), 562–567.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.028>
- Rahayu, A., & Budi, T. (2023). Certification pathways for indigenous food products: A study on organic certification in Papua. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 9(1), 1–12.
- Rahman, F., & Dewi, M. R. (2017). Formulasi camilan sehat berbasis ubi jalar dan kelapa. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 8(2), 99–108.
- Ramli, I. R., Muslim, A., & Furqan, M. (2024). Analisis Business Model Canvas pada Usaha Mikro Kecil. *Jurnal IPTEK Bagi Masyarakat*, 4(2), 55–70.
- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207–216.
- Ratnaningsih, R., Kusumawaty, N., Ade C. Iwansyaha, E. R. N. H., Kristanti, D., Ariani, D., Miftakhussolikhah, M., Adriansyah, R. C. E., & Bawa, M. (2025). History, manufacture, nutritional content, bioactive compounds, and health benefits of tempeh and tofu as alternative protein in Indonesia: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 19(07), 839–852. <https://doi.org/10.21475/ajcs.25.19.07.p381>
- Reardon, T., & Timmer, C. P. (2012). The economics of the food system revolution. *Annual Review of Resource Economics*, 4, 225–264. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110811-114540>
- Renn, O. (2008). Risk governance: Coping with uncertainty in a complex world. *Earthscan*.
- Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J., Winter, N., Mete, E., & Te Morenga, L. (2019). Carbohydrate quality and human health: A series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet*, 393(10170), 434–445.
- Rigaux, C., Georgé, S., Albert, I., Renard, C. M. G. C., & Carlin, F. (2016). A mechanistic and probabilistic model estimating micronutrient losses in industrial food processing: Vitamin C and canned green beans, a

- case-study. LWT, 69, 236–243.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.051>
- Rini, S., Utami, N., & Surya, P. (2024). Peran komunitas dalam adaptasi iklim dan ketahanan pangan di Sulawesi. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 16(1), 30–45.
- Rizky, D., & Pratama, B. (2021). Hambatan akses perempuan dalam pengembangan inovasi pangan: Studi kasus di Jawa dan Bali. *Jurnal Perempuan dan Pembangunan*, 14(1), 33–47.
- Roberfroid, M. (2017). Prebiotics: The concept revisited. *The Journal of Nutrition*, 137(3), 830S–837S.
- Robertson, G. (2012). Food and Nutrition. In *Food Packing: Third Edition Principles and Practice*.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b21347/food-packaging-gordon-robertson>
- Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Orozco-Avila, I., Lugo-Cervantes, E., & Jaramillo-Flores, M. E. (2011). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International*, 44(1), 250–258.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.028>
- Roig-Sagués, A. X., & Trujillo, A. J. (2023). Application of Emerging Non-Thermal Processing Technologies: Impact on Characteristics, Efficacy, and Safety of Foods. *Foods*, 12(21), 4040.
<https://doi.org/10.3390/foods12214040>
- Ropikoh, S., Widjayanti, W., Idris, M., Nuh, G. M., & Fanani, M. Z. (2024). Perkembangan Teknologi Pengemasan dan Penyimpanan Produk Pangan. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 6(1), 30–38.
<https://doi.org/10.30997/jiph.v6i1.12668>
- Rosa, M. D., Romani, S., Rocculi, P., Tylewicz, U., & Tappi, S. (2025). Progress in Low-Impact Processing Technologies to Deliver More

- Sustainable and Healthy Food Tomorrow. *Foods*, 14(13), 2332. <https://doi.org/10.3390/foods14132332>
- Rose, P., Moore, P. K., & Zhu, Y.-Z. (2018). Garlic and Gaseous Mediators. *Trends in Pharmacological Sciences*, 39(7), 624–634. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2018.03.009>
- Rosidin, O., Riansi, E. S., Muhyidin, A., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2021). *Leksikon Kuliner Tradisional Masyarakat Kabupaten Pandeglang*. Univeristas Sultan Agung Tirstayasa.
- Rusmiati, A. R., Latifah, H. and Daud, M. (2021) 'Potential of Non-Timber Forest Products as Medicinal Plant Sources in The Protected Forest Area of Enrekang Regency', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciece*, 807(2), pp. 1–6.
- Rustan, N., Wahyuni, S., Nafilawati, W. O., & Ningsih, M. L. (2025). Bioteknologi Pangan Berbasis Mikroorganisme Rekayasa Genetika : Tren dan Tantangan Global. *Jurnal Minfo Polgan*, 2(1), 2521–2533.
- Sá, A. G. A., Laurindo, J. B., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2022). Influence of Emerging Technologies on the Utilization of Plant Proteins. *Frontiers in Nutrition*, 9, 809058. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.809058>
- Sabda, M., Wulanningtyas, H.S., Ondikeleuw, M., & Baliadi, Y. (2019). Karakterisasi Potensi Gembili Lokal Asal Papua sebagai Alternatif Bahan Pangan Pokok. *Buletin Plasma Nutfah*, 25(1), 25-32.
- Sahar, A., Rahman, U. U., Aadil, R. M., & Ishaq, A. (2018). Stabilization of Carotenoids in Foods. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 330–336). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21670-3>
- Saidji, N., Malki, F., Boukerche, H., & Mokrane, H. (2024). Insight into stability and degradation kinetics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) flowers anthocyanin, effect of pH, heating, storage conditions, and co-pigment treatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(23), 30613–30625. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04946-8>

- Saini, R. K., A. Bekhit, A. E.-D., Roohinejad, S., Rengasamy, K. R. R., & Keum, Y.-S. (2020). Chemical Stability of Lycopene in Processed Products: A Review of the Effects of Processing Methods and Modern Preservation Strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(3), 712–726. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06669>
- Samrin, S. et al. (2024) 'Land Productivity and Land Equivalent Ratio of Agroforestry System in Marena Customary Forest, Enrekang Regency, South Sulawesi Province, Indonesia', *Jurnal Sylva Lestari*, 12(2), pp. 532–548. doi: <https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.877>.
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: From biology to the clinic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 16(10), 605–616.
- Santos, P. D. D. F., Rubio, F. T. V, da Silva, M. P., Pinho, L. S., & Favaro-Trindade, C. S. (2021). Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110571>
- Sari, A., & Wahyuni, P. (2023). Peran perempuan dalam pelestarian kearifan lokal pangan di Indonesia. *Jurnal Kebijakan Pertanian Nasional*, 18(2), 55–70.
- Sari, D. H., & Prasetyo, A. D. (2022). Evaluation of Three Abundant Indonesian Traditional Tubers as Carbohydrate-Rich Food Alternatives for Diabetic Patients During the COVID-19 Pandemic. *Tropical Journal of Natural Product Research*. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v6i7.14>
- Sari, D. R. T., Paemanee, A., Roytrakul, S., Cairns, J. R. K., Safitri, A., & Fatchiyah, F. (2021). Black rice cultivar from Java Island of Indonesia revealed genomic, proteomic, and anthocyanin nutritional value. *Acta Biochimica Polonica*, 68(1), 55–63. https://doi.org/10.18388/abp.2020_5386

- Sari, L., & Santoso, B. (2019). Modifikasi alat penepung tradisional dengan tenaga tangan untuk peningkatan efisiensi. *Jurnal Teknologi Agroindustri*, 7(2), 55–64.
- Sari, M., & Anggraini, L. (2022). Konservasi tanah dan peningkatan kesuburan di daerah pertanian Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Tanah dan Pertanian Berkelanjutan*, 11(3), 89–103.
- Sarimanah, S. A. (2025). Optimalisasi Gembili sebagai Serat Pangan Fungsional. Diakses dari <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2025/09/26/optimalisasi-gembili-sebagai-serat-pangan-fungsional>
- Sarungallo, Z. L., Santoso, B., Tethool, E. F., & Situngkir, M. (2015). Chemical composition of red fruit (*Pandanus conoideus*) oil from Papua. *International Food Research Journal*, 22(3), 1067–1072.
- Sawant, S. S., Park, H., Sim, E., Kim, H., & Choi, H. (2025). Microbial Fermentation in Food: Impact on Functional Properties and Nutritional Enhancement — A Review of Recent Developments.
- Scalbert, A., Johnson, I. T. and Saltmarsh, M. (2005) 'Polyphenols: Antioxidants and beyond', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), pp. 215S–217S.
- Schmidt, M., Hopfhauer, S., Schwarzenbolz, U., & Böhm, V. (2022). High pressure processing and heat sterilization of kale: Impact on extractability, antioxidant capacity and storability of carotenoids and vitamin E. *Applied Research*, 1(4). <https://doi.org/10.1002/appl.202200025>
- Schmiedeskamp, A., Schreiner, M., & Baldermann, S. (2022). Impact of Cultivar Selection and Thermal Processing by Air Drying, Air Frying, and Deep Frying on the Carotenoid Content and Stability and Antioxidant Capacity in Carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(5), 1629–1639. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05718>

- Seki, T., & Hosono, T. (2025). Functionality of garlic sulfur compounds (Review). *Biomedical Reports*, 23(2). <https://doi.org/10.3892/br.2025.2002>
- Sen, A. K., Sen, D. B., Zanzwar, A. S., Balaraman, R., Shah, U., & Maheshwari, R. A. (2022). Catechins and Theaflavins: An Overview on Therapeutic Application. *Journal of Natural Remedies*, 22(3), 330–346. <https://doi.org/10.18311/jnr/2022/30181>
- Serna-Saldivar, S. O. (2019). *Corn: Chemistry and technology* (3rd ed.). Woodhead Publishing.
- Setianingsih, D. A., Setiowati, A. D., Perdani, A. W., & Supriyadi, S. (2025). Stabilization of Anthocyanins Crude Extracted from Rambutan (*Nephelium Lappaceum* L.) Peel Through Copigmentation and Encapsulation for Natural Food Colorants. *Food Biophysics*, 20(4). <https://doi.org/10.1007/s11483-025-10019-2>
- Setiarto, R. H. B. (2020). *Teknologi Fermentasi Pangan Tradisional dan Produk Olahannya*. GUEPEDIA. <https://books.google.co.id/books?id=ok9NEAAAQBAJ>
- Setiawan, N., Wijaya, R., & Dewi, M. (2021). Digital platform integration in village cooperative systems: A case study from West Papua. *Jurnal Pengembangan Koperasi*, 14(2), 89–102.
- Setiawan, S. C. E., Yuliantara, A., & Murti, P. D. B. (2024). Pangan fungsional dari bahan pangan tradisional: tinjauan pustaka. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 18(3), 552–560. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v18i3.15464>
- Setyawan, H. (2018). Diversifikasi produk singkong melalui inovasi teknologi pengolahan. *Jurnal Pengolahan Hasil Pertanian*, 15(2), 89–97.
- Sezer, B., Sakarya, F. B., Savaş, S., Kuşçu, A., Ceylan, F. D., & Özkan, G. (2025). Impacts of Cold Plasma Treatment on the Food Quality and

- Safety during Storage. DergiPark (Istanbul University).
<https://dergipark.org.tr/en/pub/itujfst/issue/95048/1637766>
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and Polyphenolics in Foods, Beverages and Spices: Antioxidant Activity and Health Effects – A Review. *Journal of Functional Foods*, 18(B), 820-897, doi: 10.1016/j.jff.2015.06.018.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2020). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2022). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897.
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels. *Journal of Cereal Science*, 59(2), 211–218.
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*, 3(1), 1–20.
- Shelake, P. S., & Dabhi, M. N. (2019). Development of cooling system assisted grinding mechanism for spices. *Journal of Food Process Engineering*, 42(8). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13288>
- Shill, N., & Sit, N. (2025). Application of Cold Plasma as A Technique for Minimal Processing of Fruits. *Food Production Processing and Nutrition*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-025-00319-y>
- Sinaga, S. E., & Tumewu, Z. (2023). Literature Study of Tempe Bioactive Compounds as Functional Foods in Indonesia. *Helium*, 3(2), 35–44. <https://doi.org/10.33751/helium.v3i2.8628>

- Singh, R. S., & Singh, R. P. (2010). Production of fructooligosaccharides from inulin by endoinulinase and their prebiotic potential. *Food Technology and Biotechnology*, 48(4), 435–450.
- Slavin, J. L. (2013). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 29(3), 411–418.
- Slimestad, R., Fossen, T., & Vågen, I. M. (2007). Onions: A source of unique dietary flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(25), 10067–10080.
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science*, 236(4799), 280–285. <https://doi.org/10.1126/science.3563507>
- Smith, J. S. dan Y. H. H. (2004). *Food Processing: Principles and Applications*.
- Socaci, S., Aussenac, T., & Laguerre, J. (2019). Food Preservation and Waste Exploitation. In IntechOpen eBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78920>
- Sola, I., Poljuha, D., Pavicic, I., Jurinjak, T.A., & Samec, D. (2025). Climate Change and Plant Foods: The Influence of Environmental Stressors on Plant Metabolites and Future Food Sources. *Foods*, 14(3), 416, doi: 10.3390/foods14030416.
- Sreeramulu, G., Zhu, Y., & Knol, W. (2000). Kombucha fermentation and its antimicrobial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2589–2594.
- Stephen, A. M., Champ, M. M. J., Cloran, S. J., Fleith, M., van Lieshout, L., Mejbourn, H., & Burley, V. J. (2017). Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutrition Research Reviews*, 30(2), 149–190.
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2012). **Sensory evaluation practices** (4th ed.). Academic Press.
- Studi, P. et al. (2018) 'Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry
PENENTUAN STRUKTUR SENYAWA ANTIOKSIDAN

- LIMONOID DARI BIJI JERUK SAMBAL (*Citrus microcarpa* Bunge) KALIMANTAN BARAT", 1(3), pp. 77–82.
- Studi, P., Kimia, P. and Ilmu, F. (2022) 'Potensi Ekstrak Daun Jambu Biji Sebagai Alternatif Inhibitor Korosi Besi untuk Pembelajaran Kimia Kontekstual Shofrina Surya Dewi *, Retno Aliyatul Fikroh , Fuadatul Mukoningah Pendahuluan', 6(3), pp. 257–272.
- Su, W., Wang, Q., Li, J., Qiu, Z., & Qiu, Y. (2024). Effects of pulsed electric field technology on the nutritional value and biological function of plant food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1385533>
- Suarni, S. (2012). Potensi Sorgum sebagai Bahan Pangan Fungsional. *IPTEK Tanaman Pangan*, 7(1), 58-67.
- Suherman, S., Gunawan, G., & Widiati, S. (2021). Strategi Pengembangan Usaha Produk Olahan Pangan Lokal Berbasis Telur Asin Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat (Kuem) Desa Sujung. *Jurnal Agribisnis Terpadu*, 14(2), 315.
- Sulasmi, E.S. et al. (2019) 'Tannin Identification of 4 Species Pteridophyta from Baluran National Tannin Identification of 4 Species Pteridophyta from Baluran National Park'. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1241/1/012002>.
- Supriadi et al. (2024) 'Perbandingan Mutu Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica*) Di Bawah Tegakan Pinus (*Pinus merkusii*) Dan Tegakan Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) Di Hutan Kemasyarakatan Tallu Lolona', *Forest Services*, 2(2), pp. 23–37.
- Suresh, D., Gurudutt, K. N., & Srinivasan, K. (2009). Degradation of bioactive spice compound: Curcumin during domestic cooking. *European Food Research and Technology*, 228(5), 807–812. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0993-9>
- Surya, R., Amalia, N., Gunawan, W. B., Taslim, N. A., Ghafoor, M., Mayulu, N., Hardinsyah, H., Syahputra, R. A., Kartawidjajaputra, F., Rizzo, G.,

- Tjandrawinata, R. R., Subali, D., Kurniawan, R., & Nurkolis, F. (2024). Tempe as superior functional antioxidant food: From biomechanism to future development of soybean-based functional food. *Pharmacia*. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e116748>
- Suryani, A., & Prasetyo, E. (2020). E-commerce adoption among smallholder farmers in Indonesia: Challenges and opportunities. *Jurnal Pangan dan Teknologi*, 18(3), 112–124.
- Susanti, D., & Dewi, E. (2022). Pemberdayaan komunitas lokal untuk adopsi teknologi pengolahan pangan sederhana. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 5(1), 22–34.
- Sutomo, E., & Hafidh, A. (2024). Integrasi pengetahuan tradisional dan ilmu pengetahuan dalam fermentasi pangan lokal. *Jurnal Mikrobiologi dan Inovasi*, 9(3), 111–125.
- Sutrisno dan Purwanto. (2010). Kajian Penyimpanan Buah Naga (*Hylocereus costaricensis*) dalam Kemasan Atmosfer Termodifikasi. 127–132.
- Sutrisno, A., Rahmawati, F., & Yulianti, S. (2021). Sinergi inovasi teknologi dan tradisi dalam pengelolaan pangan berkelanjutan. *Jurnal Agroekoteknologi*, 11(1), 9–20.
- Swanson, K. S., dkk (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(11), 687–701.
- Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable*. Random House.
- Tamaroh, S., & Sari, Y. P. (2024). Encapsulation of anthocyanins from purple yam extract (*Dioscorea alata*, L.) flour using maltodextrin-whey protein isolate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1302(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012100>

- Tambunan, E. E. B. (2025). Analysis of Bioactive Content in Indonesian Local Superfoods as a Preventative of Degenerative Diseases. *Journal of Pharmacopoeia*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.62872/jtsw1p76>
- Tanaka, Y., & Suharto, D. (2024). Cultural food exports from Indonesia to Japan: The role of authenticity and certification. *Asian Journal of International Trade*, 6(1), 33–48.
- Tanaman, I., Lokal, S. and Desa, D.I. (2017) 'SEBAGAI SUMBER BELAJAR BIOLOGI', 8(1), pp. 1–5.
- Tanasa, L. (2024). Implications Of Short Food Supply Chain in The Local Agri-Food System Of The North-East Development Region. *Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Agriculture, Silviculture and Veterinary Medicine*, 13(2), 5–19. <https://doi.org/10.56082/annalsarsciagr.2024.2.5>
- Tao, W., Yang, C., Wang, M., Li, J., Zhou, W., Li, M., Xing, J., Zhao, Y., & Yang, Y. (2025). Sodium alginate as a stabilizer for anthocyanins in *Dendrobium officinale*: Insights from experimental approach and molecular dynamics. *Food Chemistry*, 488. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144838>
- Tao, Z., & Wang, Y. (2025). The health benefits of dietary short-chain fatty acids in metabolic diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(9), 1579–1592.
- Tapia, M.S., Alzamora, S.M., & Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity on Microbial Stability as A Hurdle in Food Preservation. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, Wiley Blackwell, doi: 10.1002/9781118765982.ch14
- Timmer, C. P. (2015). Food security and scarcity: Why ending hunger is so hard. University of Pennsylvania Press.
- Tolouie, H., Mohammadifar, M. A., Ghomi, H., & Hashemi, M. (2017). Cold Atmospheric Plasma Manipulation of Proteins in Food Systems.

- Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58(15), 2583. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1335689>
- Torres, D. P. M., Gonçalves, M. P. F., & Teixeira, J. A. (2019). Galacto-oligosaccharides: Production, properties, applications, and significance as prebiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 438–454.
- Toti, E., Oliver Chen, C.-Y., Palmery, M., Valencia, D. V., & Peluso, I. (2018). Non-provitamin A and provitamin A carotenoids as immunomodulators: Recommended dietary allowance, therapeutic index, or personalized nutrition? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4637861>
- Tri Pujiana, Anna Dwi Putri, & Dwi Arianti. (2025). Preferensi Konsumen terhadap Pembelian Produk Organik di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 4(2), 01–10.
- Truong, V. D., McFeeters, R. F., Thompson, R. T., Dean, L. O., & Shofran, B. (2018). Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common sweet potato cultivars. *Journal of Food Science*, 72(6), 343–349.
- Tsao, R., & Zhou, T. (2007). Natural antimicrobials from plant essential oils. *ACS Symposium Series*, 967, 364–387. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0967.ch018>
- Tucker, G. S. (2008). *Food Biodeterioration and Preservation*. Blackweel Publishing Ltd.
- Ulrich, K. T. & E. S. D. (2016). *Product Design and Development Sixth Edition*.
- Ulya, S. (2025). Inovasi Teknologi Pangan Untuk Meningkatkan Nilai Gizi Produk Lokal. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2(2).
- Une, S. et al. (2022) Pemanfaatan Limbah Batang Pisang Menjadi Produk Bernilai Jual Sebagai Upaya Peningkatan Ekonomi Masyarakat Desa Reksonegoro Kabupaten Gorontalo.

- UNESCO. (2023). Laporan ketahanan pangan dan inovasi di daerah rawan bencana. UNESCO Publishing.
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations. <https://sdgs.un.org>
- United Nations. (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. New York: United Nations.
- Utami, S., Fatmona, S., & Wahyuni, S. (2024). An Application of Fermented Sword Beans on *Rhizopus oligosporus* Production Performance and Quality of Quail Eggs. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 4519-4526, doi: 10.29303/jppipaq.v10i8.8407.
- Valdes, A. M., Walter, J., Segal, E., & Spector, T. D. (2018). Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ*, 361, 1–10.
- Varela, P., & Ares, G. (2014). *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16853>
- Verni, M., Rizzello, C. G., Coda, R., & Bran, W. (2019). Fermentation Biotechnology Applied to Cereal Industry By-Products: Nutritional and Functional Insights. 6(April), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00042>
- Vikas, & Ranjan, R. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409>
- Villa-Rivera, M. G., & Ochoa-Alejo, N. (2020). Chili pepper carotenoids: Nutraceutical properties and mechanisms of action. In *Molecules* (Vol. 25, Number 23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25235573>
- Vimala, B., Nambisan, B., & Hariprakash, B. (2011). Retention of carotenoids in orange-fleshed sweet potato during processing. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 520–524. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0323-2>

- Visavale, G. L. (2012). Principles, Classification and Selection of Solar Dryers. Dalam C. L. Hii, S. V. Jangam, S. P. Ong, & A. S. Mujumdar (Ed.), *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations* (Nomor August, hlm. 1–50).
- Waghmare, R. (2021). Cold Plasma Technology for Fruit Based Beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.018>
- Walia, S., Bhatt, V., & Kumar, R. (2020). Influence of Drying Processing on Essential Oil Yield and Composition of Wild Marigold (*Tagetes minuta* L.) in the Western Himalayas. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 23(4), 686–696. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1810137>
- Wang, Y., Wang, X., Xie, M., Xu, H., Liu, J., Su, A., Pei, F., & Yang, W. (2026). Impact of processing on sulfur compounds in garlic. *European Food Research and Technology*, 252(2). <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04932-6>
- Wibowo, H. (2019). Ekonomi sirkular dalam pengolahan limbah pangan lokal: Studi inovasi ramah lingkungan. *Jurnal Lingkungan dan Teknologi*, 7(3), 178–190.
- Wicaksono, W. A. (2026). Traditional fermented foods of Indonesia harbour functionally redundant but phylogenetically diverse taxa. *FEMS Microbes*, 7(October 2025). <https://doi.org/10.1093/femsmc/xtag005>
- Wichchukit, S., & O'Mahony, M. (2014). The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: Some reappraisals and alternatives. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6993>
- Widodo, H. (2017). Teknologi pangan sederhana dan berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pangan*, 12(1), 20–29.
- Widyastuti, E., Claudia, R., Estiasih, T., & Ningtyas, D. W. (2015). Karakteristik Biskuit Berbasis Tepung Ubi jalar Oranye (*Ipomea*

- batatas L.,) Tepung Jagugn (*Zea mays*) Fermentasi, dan Konsentrasi Kuning telur. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 16(1), 9–20.
- Widyasustuti, N., & Istini, S. (2004). Optimasi Proses Pengeringan Tepung Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*). *Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 2(1), 1–4.
- Wijaya, I., Lestari, M., & Sari, N. (2021). Brand development in rural Indonesia: Case study of Sibundoy Heritage. *Jurnal Kewirausahaan Pedesaan*, 7(1), 77–90.
- Wijayanti, E., & Sukma, D. (2023). Dampak sosial dan ekonomi inovasi teknologi pangan berkelanjutan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 20(2), 77–91.
- World Bank. (2014). *Agricultural risk management: Building resilience to shocks*. World Bank.
- World Bank. (2024). *Indonesia economic prospects 2024*. World Bank.
- World Health Organization. (2006). *Five keys to safer food manual*. WHO Press.
- World Health Organization. (2015). *WHO estimates of the global burden of foodborne diseases*. WHO Press.
- World Health Organization. (2020). *Healthy Diets Fact Sheet*. Geneva: WHO Press.
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319–327.
- Xie, Y., Lei, D., Zhao, Y., Han, J., Liu, Y., Yang, Z., & Guo, J. (2025). Effects of post-harvest processing techniques on the content of sulfur-containing compounds in fruit and vegetable produce and product flavor: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2584472>

- Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. *Food Chemistry*: X, 24. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883>
- Yin, X., Xie, C., Chen, Y., Shen, L., Bai, W., & Sun, J. (2026). Molecular interaction of yeast mannoproteins with grape anthocyanins: enhancing anthocyanins and color stability in juice. *European Food Research and Technology*, 252(2). <https://doi.org/10.1007/s00217-026-05043-6>
- Yuan, Y., Wei, X., Mao, Y., Zheng, Y., He, N., Guo, Y., Ming, W., Dimpler, J., Li, B., Chen, X., Cai, X., Wu, J., Tian, Y., Xie, S., Subbiah, J., & Wang, S. (2025). Innovative Food Processing Technologies Promoting Efficient Utilization of Nutrients in Staple Food Crops. *Engineering*, 50, 229. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.04.014>
- Yuliana, R., Hartono, D., & Prasetyo, M. (2023). Pengembangan kemasan biodegradable untuk produk pengeringan surya buah lokal. *Jurnal Desain Produk*, 6(2), 99–110.
- Yuliani, F., Hermawan, H., & Asriyana Suryana, E. (2025). Cendekia Niaga Journal of Trade Development and Studies Kebijakan Hilirisasi dalam Rangka Pemanfaatan Perjanjian Kerjasama Internasional. *Journal of Trade Development and Studies*, 9(2), 113–130.
- Zeng, C. (2013). Effects of different cooking methods on the vitamin C content of selected vegetables. *Nutrition and Food Science*, 43(5), 438–443. <https://doi.org/10.1108/NFS-11-2012-0123>
- Zhang, J., Du, Q., Yang, Y., Zhang, J., Han, R., & Wang, J. (2023). Research Progress and Future Trends of Low Temperature Plasma Application in Food Industry: A Review. *Molecules*, 28(12), 4714. <https://doi.org/10.3390/molecules28124714>
- Zhang, Y. J., Gan, R. Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A. N., Xu, D. P., & Li, H. B. (2022). Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules*, 27(2), 1–22.

- Zhang, Z., Wang, L., Yan, J., & Aadil, R. M. (2023). Editorial: Innovative Non-Thermal Technologies for The Extraction and Modification of Bioactive Compounds from Food Processing By-Products. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1161957>
- Zhao, R., Xiao, H., Liu, C., Wang, H., Wu, Y., Ben, A., & Wang, Y. (2023). Dynamic changes in volatile and non-volatile flavor compounds in lemon flavedo during freeze-drying and hot-air drying. *LWT*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114510>
- Zheng, B., Zhang, X., Lin, H., & McClements, D. J. (2019). Loading natural emulsions with nutraceuticals using the pH-driven method: Formation & stability of curcumin-loaded soybean oil bodies. *Food and Function*, 10(9), 5473–5484. <https://doi.org/10.1039/c9fo00752k>
- Zia, H., Murray, H., Hofsommer, M., & Slatnar, A. (2025). Comparing the impact of conventional and non-conventional processing technologies on water-soluble vitamins and color in strawberry nectar – a pilot scale study. 463(August 2024). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141078>
- Быпак, Л. Ч., Sapach, A. N., & Zavaley, A. (2024). Effect of Cold Plasma Treatment On The Quality and Nutritional Value of Plant Materials. Scoping review. *Proceedings of Universities Applied Chemistry and Biotechnology*, 14(2), 173. <https://doi.org/10.21285/achb.914>

Biodata Penulis



Citra Pratiwi Prayitno. Seorang dosen tetap di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Universitas Sriwijaya sejak tahun 2024. Wanita kelahiran Palembang, tanggal 23 Desember 1997 ini telah menyelesaikan S1 di Universitas Sriwijaya, sebelum akhirnya melanjutkan studi magister jurusan Food Science di University of Reading, UK dengan beasiswa Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).

Penulis pernah menjadi pembicara dalam berbagai konferensi, podcast, dan seminar yang membahas peluang beasiswa. Saat ini, ia terus memberikan kontribusi signifikan dalam bidang pangan melalui publikasi ilmiah serta aktif dalam berbagai organisasi profesi, termasuk Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI). Citra juga berperan aktif dalam kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi, dengan terlibat dalam berbagai penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Buku Inovasi Pangan Sehat Berbasis Sumber Daya Lokal merupakan buku referensi kelima yang pernah ia tulis.

E-mail: citraprayitno23@gmail.com



Cindy Paloma. Menyelesaikan studi S1 di bidang Agribisnis, Universitas Andalas di tahun 2010, lulus Magister Program Studi Ekonomi Pertanian di IPB University tahun 2013. Saat ini ia berprofesi sebagai dosen tetap Program Studi Agribisnis, Departemen Sosial Ekonomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, dan menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Agribisnis periode (2022-2027).

Mengampu mata kuliah Manajemen Risiko Agribisnis, Perbankan dan Pembiayaan Mikro Agribisnis, Manajemen Agribisnis, Perdagangan Internasional, Ekonomi Makro, Sistem Perencanaan dan Pengendalian

Manajemen, Komunikasi Agribisnis, Kebijakan Pertanian. Penulis juga aktif melakukan penelitian tentang Manajemen Risiko, Ketahanan Pangan dan mempublikasikan dalam jurnal nasional terakreditasi Sinta, proceeding scopus, dan mengikuti seminar nasional dan internasional.

E-mail: cindy@agr.unand.ac.id, cindypaloma@gmail.com



Desy Muliana Wenas. Saat ini telah menyelesaikan Program Doktor Ilmu Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Indonesia dengan topik disertasi yakni tentang Antiaging dari bahan alam. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan S2 Herbal Estetik Fakultas Farmasi di Universitas Indonesia. Ia adalah dosen tetap Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

Mengampu mata kuliah Botani Farmasi, Fitokimia, Mikrobiologi dan Parasitologi. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa dalam penelitian bidang dengan luaran publikasi jurnal Nasional Bereputasi dan jurnal Internasional berindeks Scopus.

Telah menulis beberapa buku yakni Ilmu Gizi dan Diet, Farmakologi Sosial dan Pengelolaan Obat, Bakteriologi, Biologi Sel, Botani Farmasi, Fitokimia Antiaging.

E-mail: desywenas@istn.ac.id



Samuel Hadjo baru saja menyelesaikan pendidikan pada Program Doctor of Philosophy (PhD) pada bidang Applied Epidemiology dengan topik disertasi Perinatal Mortality di Asia Tenggara dari Newcastle University, United Kingdom. Sebelumnya menyelesaikan program studi sarjana Biologi dari Universitas Advent Indonesia, Bandung dan Master of Public Health dari Adventist International Institute of Advanced Studies, Phillipines. Saat ini bekerja

sebagai dosen tetap pada Fakultas Keperawatan, Universitas Klabat. Mengampu matakuliah Biomedic Dasar, Ilmu Dasar Keperawatan, Nutrition, Community Health Nursing, Nutrition Science, Research Methodology, Biostatistics dan Data Analysis.

Sat ini aktif menjadi anggota Ikatan Kesehatan Masyarakat Indonesia (IAKMI) Society of Social Medicine (SSM), United Kingdom, dan The European Public Health Association (EUPHA), serta berpartisipasi dalam berbagai konferensi ilmiah baik nasional maupun internasional.

Email: shadjo@unklab.ac.id



Syahmidarni Al Islamiyah. Telah menyelesaikan Pendidikan Program S1 dan S2 di Universitas Hasanuddin Makassar Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan. Sejak tahun 2022 hingga sekarang mengabdikan sebagai dosen tetap di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Mengampu mata kuliah Analisa dan Evaluasi Sensori, Pengolahan dan Produksi Hasil Pertanian, Teknologi Sereal dan Legum, Pangan Origin,

HACCP, Pengendalian Mutu Hasil Pertanian, Bahan Tambahan Pangan, Teknologi Pati dan Gula, Analisa Pangan, Teknologi Flavor, dan lain-lain. Selama ini terlibat aktif dalam penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di bidang teknologi hasil pertanian terutama diversifikasi pengembangan berbasis pangan lokal dan manajemen industri pangan.

Beberapa hasil tulisannya pernah dimuat di beberapa jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Aktif terlibat sebagai penulis buku antologi berjudul Desember With You, buku referensi berjudul Teknologi Pengolahan dan Hasil Pertanian: Prinsip, Metode, dan Teknologi, Industri Kopi di Indonesia, dan juga telah menyusun beberapa modul/penuntun praktikum seperti Penuntun Praktikum Teknologi Sereal dan Legum, Penuntun Praktikum Pengolahan dan Produksi Hasil Pertanian, dan Penuntun Praktikum Bahan Tambahan Pangan. Selain itu, penulis termasuk dalam bagian dosen tutor di Universitas Terbuka dan reviewer di jurnal nasional terakreditasi.

E-mail: syahmi1801@gmail.com, syahmidarni.alislamiyah@unsulbar.ac.id



Dahlia Elianarni Telah Menyelesaikan Studi Magister Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada. Saya berfokus pada penelitian pangan fungsional dan optimasi experimental design agar dapat mendapatkan hasil terbaik dari suatu penelitian. Pada tahun 2022 saya bekerja sebagai dosen di Akademi Kuliner dan Patiseri Ottimmo Internasional dan sekarang telah menjadi dosen tetap di Universitas Muhammadiyah Malang sejak tahun 2023.

Mengampu mata kuliah kimia fisik pangan, statistika, analisis sensoris, rancangan percobaan, serta kimia industri membuat saya semakin ingin berkarya dalam bidang terkait. Dan sekarang juga menjabat sebagai kepala divisi laboratorium sentral UMM.

Selama ini terlibat aktif dalam kegiatan audit halal sebagai auditor di LPH KHT Muhammadiyah dan sebagai konsultan dalam industri pangan.

Telah menulis berbagai macam buku dan karya ilmiah dan buku yang berkaitan dengan kegiatan penelitian dan pengabdian yang telah dilakukan.

E-mail: dahliaeli@umm.ac.id, dahliaelianarni6@gmail.com



Sakinah Ahyani Dahlan merupakan dosen tetap di Universitas Negeri Gorontalo, Fakultas Pertanian, Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana di Universitas Brawijaya, Jurusan Keteknikan Pertanian, Minat Studi Teknik Bioproses dan program Magister di Institut Pertanian Bogor, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Program Studi Teknologi Pascapanen. Selama ini penulis telah mengampu mata kuliah yang berhubungan dengan pengolahan

pascapanen hasil pertanian. Penulis terlibat aktif dalam program pengembangan sorgum dan jagung di Gorontalo terutama upaya dalam menekan cendawan penghasil aflatoksin dan juga mengembangkan penelitian serta publikasi mengenai pengolahan pascapanen khususnya pada penyimpanan produk hasil pertanian. Email: sakinahdahlan@ung.ac.id



Muhammad Daud. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Kehutanan Universitas Hasanuddin (UNHAS) Tahun 2007, S2 Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan IPB Tahun 2010 serta Insinyur Bidang Teknik Kehutanan, IPB, 2020. Penulis saat ini bekerja sebagai dosen tetap di Program Studi Kehutanan, Universitas Muhammadiyah Makassar. Penulis merupakan Kepala Laboratorium Pemanfaatan Hasil Hutan, Wakil Direktur KHDTK Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Makassar, dan Editor-in-Chief Forest Services Journal. Penulis memiliki keahlian di bidang Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK), bioenergi, biomassa dan dinamika karbon hutan, mitigasi perubahan iklim, serta analisis dampak lingkungan pengolahan hasil hutan. Penulis juga ahli analisis data statistik untuk bidang kehutanan dan lingkungan. Penulis aktif sebagai peneliti dan penulis di jurnal nasional dan internasional terindeks SINTA/Scopus, dengan publikasi 92 artikel ilmiah. Selain itu, penulis telah menerbitkan 51 buku referensi, 7 buku ajar, dan 7 buku penuntun praktikum. Dalam bidang riset, penulis menerima hibah dari RisetMu, DIKTI, BRIN, lembaga swasta serta berbagai hibah riset internasional. Saat ini, penulis menjabat sebagai Anggota Pimpinan Lembaga Resiliensi Bencana PWM Sulawesi Selatan, serta aktif di berbagai organisasi profesi seperti PII, PERTALINDO, ILCAN, IUFR, INBAR, MAPEKI, KOMHINDO dan MKTI. Penulis tersertifikasi: Dosen Profesional, Auditor SVLK, Insinyur Profesional Madya, Auditor Lingkungan, KTPA AMDAL, Ahli K3 Umum, Analis SOP, Trainer Profesional, Auditor ISO, Climate Leader, dan Pendamping Proses Produk Halal. Selain sebagai akademisi, penulis aktif menjadi narasumber pada forum nasional dan internasional, serta menjadi konsultan ahli di bidang kehutanan dan lingkungan, khususnya studi AMDAL, studi kelayakan, audit lingkungan, LCA-PROPER, ISPO/RSPO dan pemberdayaan masyarakat sekitar hutan serta pendidikan perubahan iklim. Penulis telah mengikuti 76 kursus/pelatihan (3 internasional), 103 seminar/workshop (19 internasional), terlibat 61 proyek kolaborasi penelitian (19 Ketua Tim) dan 38 proyek pengabdian masyarakat (13 Ketua Tim) baik tingkat nasional maupun internasional serta telah menyusun 264 AMDAL/Dokumen Lingkungan di Indonesia, dan 73 diantaranya sebagai ketua tim termasuk kegiatan pada sektor kehutanan dan energi terbarukan. E-mail: muhdaud@unismuh.ac.id, mdaudhammasa@gmail.com



Afifa Husna merupakan dosen pada Program Studi Teknologi Pangan Universitas Muhammadiyah Malang yang memiliki minat penelitian di bidang pangan fungsional, fermentasi, serta pemanfaatan sumber daya pangan lokal untuk pengembangan produk pangan inovatif. Ia menyelesaikan pendidikan magister jalur double degree di bidang ilmu pangan di Universitas Brawijaya dan National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan.

Penulis aktif melakukan penelitian serta publikasi ilmiah terkait bioaktif pangan, teknologi fermentasi, dan pemanfaatan hasil samping industri pangan. Selain kegiatan penelitian, ia juga terlibat dalam berbagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berfokus pada pengembangan produk pangan berbasis potensi lokal dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam pengolahan pangan. Beberapa karya ilmiah dan tulisan akademiknya telah dipublikasikan dalam jurnal nasional dan internasional serta digunakan sebagai bahan ajar dalam perkuliahan di bidang teknologi pangan.



Hanif Alamudin Manshur. Telah menyelesaikan jenjang Sarjana (S-1) di bidang Ilmu Gizi, Universitas Brawijaya dan Magister (S-2) di bidang Ilmu Pangan, IPB University. Saat ini merupakan dosen tetap di Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian-Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang. Mengampu mata kuliah Biokimia Pangan, Fisiologi dan Metabolisme Zat Gizi, Peraturan Pangan, Evaluasi Gizi Pangan, Analisis Sensori dan Toksikologi Pangan.

Selama beberapa tahun terakhir sangat produktif dalam melakukan penelitian dan pengabdian masyarakat yang berfokus pada inovasi pangan lokal, pangan fungsional, dan kesehatan. Beberapa kontribusi signifikannya meliputi: pengembangan produk berbasis bahan lokal seperti jagung, daun kelor, dan cokelat; penelitian mengenai ketahanan pangan dan keamanan pangan, termasuk identifikasi mikroplastik dalam minyak goreng dan pendampingan sertifikasi halal dan tata kelola unit usaha masyarakat.

Telah menerbitkan berbagai artikel ilmiah pada jurnal nasional maupun internasional, Selain itu, ia aktif sebagai penulis buku dengan beberapa karya

penting antara lain: Monograf: Pengolahan Minuman Fungsional Kopi Susu Plus Mawar (2024); Ilmu Pangan-Gizi: Pentingnya Ketahanan Pangan Keluarga (2023) dan Ketahanan Pangan di Masa Pandemi COVID-19 (2021).

E-mail: hanifalamudin@umm.ac.id, hanifalamudin@gmail.com



Purnama Ningsih S. Maspeke. Saat ini merupakan dosen di program studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin Makassar, S2 di Fakultas Teknologi Pertanian UGM Yogyakarta, dan studi S3 Ilmu Pertanian Unhas dengan fokus penelitian pada rekayasa dan pengolahan hasil pertanian.

Saat ini mengampu mata kuliah Prinsip Teknologi Pangan, Teknologi Pengolahan Kelapa dan Palma lainnya, Teknologi Hasil perkebunan, Teknologi Pengembangan Produk Baru dan Pangan Fungsional. Selain mengajar, penulis juga aktif melakukan penelitian di bidang pengolahan pangan dan telah mempublikasikan hasil penelitiannya di beberapa jurnal nasional dan internasional terindeks Scopus. Penulis juga adalah anggota pada organisasi profesi Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia Cabang Gorontalo, SAFE-Network dan ASENSINDO.

Selain kegiatan pengajaran dan pendidikan, penulis terlibat aktif dalam kegiatan pengabdian masyarakat dan pengembangan UMKM di wilayah Provinsi Gorontalo

E-mail: purnamaningsih@ung.ac.id



Yermia. Telah menyelesaikan studi program Doktor Ilmu Pangan di Institute Pertanian Bogor (IPB) dengan Topik Disertasi tentang Karakterisasi Kimia, Termal, Dan Reologi Buah Aren (*Arenga Pinnata*) Untuk Pengembangan Edible Film/Coating Bakso. Sebelumnya mengikuti Pendidikan program S1 dan S2 di Universitas Hasanuddin (UNHAS). Ia adalah Dosen tetap di Universitas Sembilanbelas November Kolaka.

Mengampu mata kuliah Kimia Pangan, Kimia Hasil Pertanian, Kimia Analitik, Pengemasan dan Penyimpanan, Rekayasa pangan. Biokimia Pangan, Bioteknologi, Mikrobiologi Pangan.

Selama ini terlibat aktif dalam perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) cabang Kendari.

Telah menulis 4 buku referensi

Email : yermia1989@gmail.com



Fitrah Adelina, Telah menyelesaikan studi Program Magister Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UB dengan topik Karakterisasi Beras Analog Berbasis Tepung Ubi Kayu Fermentasi Dengan Penambahan Hidrokoloid. Sebelumnya mengikuti Pendidikan program S1 di UB, Malang. Ia adalah dosen tetap Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Peternakan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka.

Mengampu mata kuliah teknologi pengolahan hasil pertanian, analisis pangan, analisis sensori, Evaluasi Gizi pengolahan. Selama ini terlibat aktif dalam pengembangan diversifikasi produk tepung ubikayu fermentasi

Email : fitrahadlin@gmail.com



Widyaningrum memperoleh gelar Sarjana di bidang Teknik Pertanian dari Universitas Brawijaya, kemudian melanjutkan studi Magister pada program Teknik Mesin Pertanian dan Pangan di Institut Pertanian Bogor (IPB). Pendidikan doktoralnya diselesaikan di IPB pada bidang Ilmu Keteknikan Pertanian. Sejak 2018, beliau berkarier sebagai dosen di Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari di bawah naungan Kementerian Pertanian, dengan fokus pada pengajaran, penelitian, serta pengembangan ilmu dalam bidang teknologi pertanian.

e-mail: widya.polbangtanmkw@gmail.com



Rahmiyati Kasim. Saat ini adalah staf dosen di Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo. Penulis menyelesaikan pendidikan S3 di Jurusan Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian UGM tahun 2024 dengan topik disertasi berkaitan dengan aplikasi edible coating pati sagu dan CNF pada pisang dan tomat. Sebelumnya penulis menyelesaikan pendidikan S2 di Jurusan Teknologi Industri Pertanian IPB tahun 2010. Pendidikan S1 ditempuh pada Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Sam Ratulangi.

Mengampu mata kuliah Fisiologi dan teknik pascapanen, sifat fisik hasil pertanian dan prinsip teknologi hasil pertanian. Selama ini terlibat aktif dalam penelitian maupun publikasi yang berkaitan dengan biodiesel diantaranya esterifikasi crude palm oil (cpo) menggunakan katalis zeolit alam teraktifasi asam pada proses pembuatan biodiesel melalui metode dua tahap (esterifikasitransesterifikasi). esterifikasi asam lemak bebas pada campuran asam oleat dan minyak sawit murni menggunakan microwave .

E-mail: rahmiyatikasim@ung.ac.id



Ike Susanti. Telah Menyelesaikan Studi Program Doktor Ilmu Pangan, FTP UB dengan topik disertasi tentang Pengaruh Kombucha Kunyit Sebagai Imunomodulator dan Hepatoprotektor terhadap mencit yang diinduksi Dietilnitrosamin. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di UMM dan S2 di UB Malang. Ia adalah dosen Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas-Pertanian-Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang.

Mengampu mata kuliah Kimia Analitik, Kimia Organik, Sistem Manajemen Mutu, Mikrobiologi Umum, Mikrobiologi Pangan, dan Biologi. Telah

menerbitkan 4 Jurnal Terindek Scopus

E-mail: ikesusanti@umm.ac.id



Sitti Khadijah Yahya Hiola. Telah menyelesaikan studi Program Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Hasanuddin, dengan topik disertasi tentang produk pangan lokal. Sebelumnya, mengikuti juga pendidikan program S1 dan S2 di Universitas Hasanuddin Makassar. Ia adalah dosen tetap Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Makassar.

Mengampu mata kuliah Manajemen Produksi dan Operasi Agribisnis, Riset Operasi, Statistika, Agroindustri dan Mekanisasi Pertanian. Selama ini

terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa dalam pembuatan produk-produk agribisnis pada Laboratorium Pengolahan.

Telah menulis buku, yakni Teknologi Pengolahan Sayuran, Ekonomi Mikro, Ekonomi Pertanian dan Pangan serta Manajemen Produksi dan Operasi Agribisnis. Keseluruhan buku merupakan referensi kuliah

E-mail: khadijah@unismuh.ac.id



Ayu Diawi Ismayawati, STP., M.Sc., Ph.D. merupakan seorang dosen Teknologi Pangan Universitas Muhammadiyah Malang akademisi di bidang Ilmu dan Teknologi Pangan. Pendidikan sarjana (S1) ditempuh di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang. Selanjutnya ia melanjutkan studi magister (S2) di University of Miyazaki, Jepang pada bidang Kimia Pangan dan Gizi. Komitmennya dalam pengembangan ilmu pangan berlanjut hingga jenjang doktoral (S3) yang juga diselesaikan di University of Miyazaki, Jepang pada bidang yang sama pada tahun

2021–2025. [OBJ]

Selama karier akademiknya, Ayu aktif melakukan berbagai penelitian di bidang pangan fungsional, antioksidan, serta karakteristik kimia bahan pangan, termasuk penelitian terkait kedelai, teh, dan kopi luwak. Hasil penelitiannya telah dipresentasikan pada berbagai seminar dan konferensi ilmiah internasional, antara lain di Hiroshima University dan pertemuan ilmiah Japan Society of Nutrition and Food Science di Hokkaido. Selain itu, ia juga menghasilkan sejumlah publikasi ilmiah pada jurnal internasional yang membahas topik seperti karakteristik kopi robusta, komposisi mineral kopi luwak, serta jalur sintesis isoflavon pada kedelai. [OBJ]

Melalui kegiatan penelitian, publikasi ilmiah, serta keterlibatan dalam forum ilmiah internasional, Ayu Diawi Ismayawati terus berkontribusi dalam pengembangan ilmu dan teknologi pangan, khususnya yang berkaitan dengan pangan fungsional dan komponen bioaktif bahan pangan. Ia juga aktif mendukung pelaksanaan Tridharma Perguruan Tinggi melalui kegiatan penelitian, pengajaran, dan pengabdian kepada masyarakat. [OBJ]

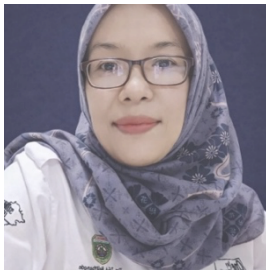


Indah Pratiwi Saat ini aktif mengajar di Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari. Pendidikan Program S1 dan S2 di Universitas Papua bidang pengolahan pangan. Ia adalah dosen tetap Program Studi Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan. Mengampu mata kuliah rekayasa produk pertanian, penjaminan mutu pertanian, teknik penulisan dan publikasi ilmiah, matematika terapan dan statistik terapan. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa tugas akhir, mahasiswa mbkm dan mahasiswa konseling di Polbangtan

Manokwari.

Selama ini terlibat aktif dalam organisasi perhimpunan ahli teknologi pangan indonesia (Patpi) cabang Papua dan aktif mengikuti kegiatan pengabdian pada masyarakat, pendampingan UMKM dan penelitian dosen.

E-mail: pratiwiindah743@gmail.com



Desri Yesi. Telah menyelesaikan Studi Magister Agribisnis di Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya Palembang Tahun 2017 dengan BKU Ekonomi Agribisnis dengan Topik Tesis tentang Efisiensi dan Produktivitas Produksi Usaha Tani di Daerah Upsus Pajale. Sebelumnya mengikuti Pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Industri di Universitas Andalas Padang. Saat ini bertugas di Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) Provinsi

Sumatera Selatan dengan jabatan Fungsional Peneliti Muda dengan bidang kepakaran Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Terlibat dalam berbagai penelitian di bidang Ekonomi Pertanian, Ekonomi Lingkungan dan Ekonomi Kesehatan. Dalam penugasan sehari-hari di BRIDA Sumsel, beliau juga banyak terlibat dalam bidang Pangan dan lebih fokus ke sektor hilir contohnya inovasi Pengalengan berbagai produk pangan unggulan daerah Sumsel seperti Pindang Patin, Pindang Burung, Malbi Daging, Pengalengan Buah Nanas dan lain-lain. Telah menulis 16 Jurnal, Prosiding maupun Buku selama menjabat sebagai Peneliti yang telah diterbitkan oleh penerbit lokal, nasional maupun internasional. Email : desriprays05@gmail.com

PERENCANAAN INFRASTRUKTUR BERKELANJUTAN

Infrastruktur merupakan elemen fundamental dalam mendukung pembangunan wilayah, pertumbuhan ekonomi, serta peningkatan kualitas hidup masyarakat. Jalan, jembatan, sistem transportasi, air bersih, sanitasi, energi, serta berbagai fasilitas publik lainnya merupakan komponen penting yang menentukan keberhasilan pembangunan suatu negara maupun daerah. Namun, di tengah meningkatnya urbanisasi, perubahan iklim, serta keterbatasan sumber daya alam, perencanaan infrastruktur tidak lagi dapat dilakukan dengan pendekatan konvensional semata, melainkan memerlukan pendekatan yang lebih terintegrasi, adaptif, dan berkelanjutan.

Buku ini membahas:

- Bab 1 Infrastruktur dalam Pembangunan Berkelanjutan
- Bab 2 Konsep dan Teori Sistem Infrastruktur Berkelanjutan
- Bab 3 Pendekatan Sistem dan Rekayasa Infrastruktur Terpadu
- Bab 4 Kebijakan, Standar, dan Tata Kelola Infrastruktur
- Bab 5 Integrasi Infrastruktur dengan Tata Ruang dan Lingkungan Terbangun
- Bab 6 Analisis Kebutuhan, Kinerja, dan Prioritas Infrastruktur
- Bab 7 Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan
- Bab 8 Infrastruktur Air Bersih dan Sanitasi Berkelanjutan
- Bab 9 Pengelolaan Infrastruktur Persampahan Berkelanjutan
- Bab 10 Infrastruktur Biru dan Hijau
- Bab 11 Infrastruktur Pendukung Pilar Ekonomi
- Bab 12 Infrastruktur Digital dan Sistem Kota Cerdas
- Bab 13 Bangunan dan Konstruksi Infrastruktur Berkelanjutan
- Bab 14 Inovasi Teknologi dan Material Infrastruktur Berkelanjutan
- Bab 15 Implementasi, Monitoring, dan Evaluasi Infrastruktur Berkelanjutan
- Bab 16 Tantangan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

