ISBN 978-634-255-749-3

TEKNOLOGI HASIL TERNAK:
KONSEP, PENGOLAHAN, DAN INOVASI PRODUK PETERNAKAN

TIM PENULIS :
Endah Murpi Ningrum, Bunga putri febrina, Irmawaty, Erita Alief Rahmania Safitri, Nur Fitri Ramadhan, Meike Meilan Lisangan Fitri Armianti Arief, Riskayanti, Rizki Prasetya, Ditasari Amelia Azchar Prianka Piawan Putra



TEKNOLOGI HASIL TERNAK: KONSEP, PENGOLAHAN, DAN INOVASI PRODUK PETERNAKAN

Endah Murpi Ningrum
Bunga putri febrina
Irmawaty
Erita
Alief Rahmania Safitri
Nur Fitri Ramadhan
Meike Meilan Lisangan
Fitri Armianti Arief
Riskayanti
Rizki Prasetya
Ditasari Amelia
Azchar Prianka Piawan Putra

GET PRESS INDONESIA

TEKNOLOGI HASIL TERNAK: KONSEP, PENGOLAHAN, DAN INOVASI PRODUK PETERNAKAN

Penulis :
Endah Murpi Ningrum
Bunga putri febrina
Irmawaty
Erita
Alief Rahmania Safitri
Nur Fitri Ramadhan
Meike Meilan Lisangan
Fitri Armianti Arief
Riskayanti
Rizki Prasetya
Ditasari Amelia
Azchar Prianka Piawan Putra

ISBN : 978-634-255-769-3

Editor : Mila Sari, M. Si.
Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S. Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku **Teknologi Hasil Ternak: Konsep, Pengolahan, dan Inovasi Produk Peternakan** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu sumber pembelajaran yang membahas berbagai aspek teknologi hasil ternak secara sistematis, mulai dari konsep dasar, komposisi dan nilai gizi, teknologi pengolahan daging, susu, dan telur, pemanfaatan kulit, bulu, serta *by-product* ternak, hingga mikrobiologi dan keamanan pangan. Pembahasan juga mencakup teknologi pengawetan, penggunaan bahan tambahan pangan, inovasi produk fermentasi, sistem jaminan mutu dan standardisasi, serta perkembangan teknologi kemasan dan penyimpanan hasil ternak. Kehadiran buku ini diharapkan dapat membantu mahasiswa, dosen, praktisi, pelaku industri, maupun pembaca umum dalam memahami peran teknologi dalam meningkatkan kualitas, keamanan, nilai tambah, dan daya saing produk hasil ternak.

Perkembangan industri pangan yang semakin dinamis menuntut adanya pemanfaatan teknologi yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan daya simpan, tetapi juga memperhatikan aspek keamanan pangan, nilai gizi, efisiensi produksi, keberlanjutan, inovasi produk, dan kebutuhan konsumen. Oleh karena itu, buku ini tidak hanya menguraikan prinsip-prinsip pengolahan konvensional, tetapi juga memperkenalkan berbagai perkembangan teknologi modern dalam pengolahan dan pemanfaatan hasil ternak. Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk penyempurnaan edisi berikutnya. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang relevan dalam mendukung pembelajaran serta pengembangan ilmu dan teknologi hasil tern

Padang, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR viii

DAFTAR TABEL ix

BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI HASIL TERNAK 1

1.1 Urgensi Teknologi Hasil Ternak 1

1.2 Definisi dan Ruang Lingkup Teknologi Hasil Ternak 4

1.3 Peran Strategis Industri Hasil Ternak dalam Perekonomian dan Ketahanan Pangan 6

1.4 Karakteristik Umum Hasil Ternak sebagai Komoditas Pangan 9

1.5 Sejarah dan Evolusi Teknologi Pengolahan Hasil Ternak 11

DAFTAR PUSTAKA 15

BAB 2 KOMPOSISI DAN NILAI GIZI PRODUK TERNAK 21

2.1 Ruang Lingkup Komposisi dan Nilai Gizi Produk Ternak 22

2.2 Komposisi dan Nilai Gizi Daging 24

2.3 Komposisi dan Nilai Gizi Susu 27

2.4 Komposisi dan Nilai Gizi Telur 30

2.5 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Komposisi dan Nilai Gizi Produk Ternak 33

DAFTAR PUSTAKA 35

BAB 3 TEKNOLOGI PENGOLAHAN DAGING DAN PRODUK OLAHANNYA 39

3.1 Teknologi Pengolahan Daging 39

3.2 Tujuan Pengolahan 41

3.3 Prinsip Dasar Pengolahan Daging 42

3.4 Metode Pengolahan Daging 43

3.5 Produk Olahan Daging 54

3.6 Produk Emulsi dan Restrukturisasi 55

3.7 Inovasi Produk Olahan Daging Modern 58

DAFTAR PUSTAKA 60

BAB 4 TEKNOLOGI PENGOLAHAN SUSU DAN PRODUK OLAHANNYA 64

4.1 Kualitas Susu 65

4.2 Sifat Susu 68

4.3 Produk Olahan Susu 69

DAFTAR PUSTAKA 84

BAB 5 TEKNOLOGI PENGOLAHAN TELUR DAN PRODUK OLAHANNYA 86

5.1 Karakteristik Telur sebagai Bahan Baku Industri 86

5.2 Prinsip Dasar Pengolahan Teknologi Pengolahan Telur 91

5.3 Teknologi Pengolahan Telur Segar 98

5.4 Teknologi Pengolahan Telur Kering (*Egg Powder*) 104

5.5 Produk Olahan Telur Berbasis Pemanasan (*Thermal Processing*) 108

5.6 Produk Olahan Telur Fungsional dan Industri Pangan 113
5.7 Inovasi Teknologi Pengolahan Telur 120
DAFTAR PUSTAKA 127
BAB 6 TEKNOLOGI PENGOLAHAN KULIT, BULU DAN BY-PRODUCT TERNAK 137
6.1 Teknologi Pegolahan Kulit Bulu dan By-Product Ternak sebagai Pilar Penting dalam Pengembangan Bioindustri Peternakan Modern 137
6.2 Klasifikasi *By-Product* Ternak 139
6.3 Teknologi Pengolahan Kulit 143
6.4 Teknologi Pengolahan Bulu dan Keratin 159
6.5 Teknologi Pengolahan Darah, Tulang dan Lemak Hewani 163
6.6 *Green Technology* dan *Circular Bioeconomy* dalam Pengolahan *By-Product* Ternak 166
6.7 Aplikasi Biomaterial dan Industri Masa Depan 171
DAFTAR PUSTAKA 178
BAB 7 MIKROBIOLOGI DAN KEAMANAN PANGAN HASIL TERNAK 186
7.1 Ekosistem dan Mikroba Indigenous pada Produk Ternak 186
7.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan Mikroba 188
7.3 Peran Mikroba Menguntungkan dalam Fermentasi Hasil Ternak 190

7.4 Mikroba Perusak dan Kerusakan Pangan Hasil Ternak 192
7.5 Patogen Pangan (*Foodborne Pathogens*) Utama pada Produk Ternak 199
7.6 Sumber Kontaminasi Patogen pada Produk Ternak 206
7.7 Strategi Pengendalian dan Pengawetan Mikrobiologis 208
7.8 Sistem Manajemen Keamanan Pangan dan Regulasi Terkini 212
DAFTAR PUSTAKA 218
BAB 8 TEKNOLOGI PENGAWETAN HASIL TERNAK (PENDINGINAN, PEMBEKUAN, DAN PENGERINGAN) 223
8.1 Pentingnya Teknologi Pengawetan Hasil Ternak 223
8.2 Etika Menulis 225
8.3 Teknologi Pendinginan *(Chilling)* 227
8.4 Teknologi Pembekuan 234
8.5 Teknologi Pengeringan 238
8.6 Perbandingan Teknologi Pengawetan Hasil Ternak 243
DAFTAR PUSTAKA 250
BAB 9 PENGGUNAAN BAHAN TAMBAHAN PANGAN (BTP) DALAM PRODUK TERNAK 253
9.1 Aspek Keamanan Pangan dan Takaran Maksimum BTP 254

9.2 Penggolongan BTP yang Relevan pada Industri Hasil Ternak 257
9.3 Regulasi Penggunaan BTP Campuran 278
9.4 Bahan yang Dilarang Digunakan sebagai BTP 281
DAFTAR PUSTAKA 290
BAB 10 INOVASI PRODUK FERMENTASI HASIL TERNAK 296
10.1 Fermentasi Hasil Ternak dan Inovasi Produk Pangan 296
10.2 Konsep Dasar Fermentasi Hasil Ternak 298
10.3 Ragam Produk Fermentasi Berbasis Susu 300
10.4 Ragam Produk Fermentasi Berbasis Daging 303
10.5 Arah Inovasi Produk Fermentasi Hasil Ternak 306
10.6 Probiotik, Prebiotik, Sinbiotik, dan Postbiotik 309
10.7 Keamanan Pangan dan Standarisasi Mutu 311
10.8 Teknologi Pendukung Inovasi 313
10.9 Peluang Pengembangan Produk Lokal 315
10.10 Strategi Komersialisasi dan Model Bisnis 316
DAFTAR PUSTAKA 319
BAB 11 SISTEM JAMINAN MUTU DAN STANDARISASI PRODUK TERNAK 323
11.1 Sistem Jaminan Mutu dan Standarisasi Produk Ternak 323
11.2 Pengertian Mutu Produk Hasil Ternak 325
11.3 Sistem Jaminan Mutu dalam Industri Hasil Ternak 339

11.4 Keamanan Pangan Produk Ternak 345
11.5 Penerapan HACCP dalam Pengolahan Produk Ternak 351
11.6 Standarisasi Produk Hasil Ternak 353
DAFTAR PUSTAKA 359
BAB 12 TEKNOLOGI KEMASAN DAN PENYIMPANAN HASIL TERNAK 363
12.1 Pentingnya Perkembangan Teknologi Kemasan dan Penyimpanan Hasil Ternak 363
12.2 Prinsip Dasar Kemasan Hasil Ternak 366
12.3 Teknologi Kemasan Modern 376
12.4 Prinsip Dasar Penyimpanan Hasil Ternak 383
12.5 Inovasi dalam Penyimpanan Hasil Ternak 386
DAFTAR PUSTAKA 389

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Produk Olahan Susu 69
Gambar 4. 2 Susu Fermentasi 70
Gambar 4. 3 Yoghurt 73
Gambar 4. 4 Yoghurt 74
Gambar 4. 5 Kefir 76
Gambar 4. 6 Kefir 77
Gambar 10. 1 Tiga fungsi utama fermentasi hasil ternak 300
Gambar 10. 2 Alur Fermentasi Daging 305
Gambar 10. 3 Perbedaan probiotik, prebiotik, sinbiotik, dan postbiotik 311
Gambar 10. 4 Diagram titik kendali kritis keamanan pangan 313
Gambar 11. 1 Klasifikasi karakteristik mutu produk hasil ternak 335
Gambar 12. 1 Klasifikasi tingkatan kemasan 367
Gambar 12. 2 Klasifikasi kemasan berbahan dasar plastik 370
Gambar 12.3 Time-temperature indicator pada smart packaging 380

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perkembangan Produksi Komoditas Hasil Ternak Utama Indonesia 2
Tabel 2. 1 Ringkasan komposisi proksimat utama beberapa produk ternak 23
Tabel 2.2 Implikasi praktis variasi komposisi terhadap pengolahan 34
Tabel 3.1 Teknologi Konvensional dan Titik Perhatian Praktis 45
Tabel 3. 2 Perbandingan Beberapa Teknologi Termal 50
Tabel 3. 3 Perbandingan Teknologi Non Termal 54
Tabel 3.4 Kategori Produk dan Parameter Teknologi Dominan 56
Tabel 8.1 Karakteristik Produk Hasil Ternak dan Kerentanannya terhadap Kerusakan 224
Tabel 8.2 Pengaruh Suhu terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme 228
Tabel 8.3 Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Umur Simpan Telur 232
Tabel 8.4 Penerapan Teknologi Pembekuan pada Produk Hasil Ternak 237
Tabel 8.5 Produk Hasil Ternak yang Dihasilkan Melalui Teknologi Pengeringan 241
Tabel 8. 6 Perubahan Fisiko-Kimia Selama Pengeringan Hasil Ternak 243
Tabel 8.7 Perbandingan Teknologi Pendinginan, Pembekuan, dan Pengeringan pada Hasil Ternak 247
Tabel 8. 8 Rekomendasi Teknologi Pengawetan Berdasarkan Jenis Produk Hasil Ternak 248
Tabel 10.1 Contoh Arah Inovasi Pada Produk Susu Fermentasi 302
Tabel 10. 2 Arah inovasi produk fermentasi hasil ternak 308

Tabel 11. 1 Data residu beberapa antibiotika yang diketahui 348
Tabel 11.2 Spesifikasi persyaratan daya awet batas maksimum residu bahan makanan asal hewan (dalam mg/kg) 349
Tabel 12. 1 Contoh kemasan aktif pada produk hasil ternak 377

BAB 1
PENGANTAR TEKNOLOGI HASIL TERNAK

1.1 Urgensi Teknologi Hasil Ternak

Sektor peternakan merupakan salah satu pilar fundamental dalam sistem ketahanan pangan nasional Indonesia. Produk-produk yang dihasilkan dari ternak, yang mencakup daging, susu, telur, kulit, bulu, serta berbagai produk sampingan lainnya, memberikan kontribusi nyata bagi pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat, penggerak ekonomi pedesaan, dan stabilitas ketahanan pangan secara keseluruhan. Dalam konteks populasi Indonesia yang diproyeksikan mencapai 320 juta jiwa pada tahun 2045 (BPS, 2023), permintaan terhadap produk protein hewani diperkirakan akan terus mengalami peningkatan signifikan.

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan (Ditjen PKH) Kementerian Pertanian (2023), produksi daging nasional Indonesia pada tahun 2023 mencapai sekitar 4,8 juta ton, dengan daging ayam mendominasi sebesar 85% dari total produksi unggas nasional. Sementara itu, produksi susu

sapi segar mencapai 1,09 juta ton dan produksi telur ayam ras melampaui 5,9 juta ton. Tren peningkatan ini konsisten selama periode 2021–2023, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Perkembangan Produksi Komoditas Hasil Ternak Utama Indonesia

Komoditas	2021 (ton)	2022 (ton)	2023 (ton)	Pertumbuhan (%)
Daging Sapi	535.420	569.480	598.250	+5,77
Daging Ayam Broiler	3.521.780	3.898.650	4.218.730	+8,21
Daging Ayam Kampung	378.920	401.340	423.610	+5,54
Telur Ayam Ras	5.108.490	5.563.240	5.942.310	+6,81
Susu Sapi Segar	950.340	1.023.180	1.098.760	+7,39

Sumber: Ditjen PKH Kementerian Pertanian RI (2023), diolah.

Meskipun produksi terus meningkat, angka kehilangan pascapanen (post-harvest losses) pada produk hasil ternak di Indonesia masih cukup tinggi. Kajian FAO (2022) menyebutkan bahwa rata-rata kehilangan produk hasil ternak di negara berkembang berkisar antara 15–30% dari total produksi, terutama pada produk perishable seperti daging segar dan susu. Kehilangan ini terjadi akibat keterbatasan infrastruktur rantai dingin, penanganan pascapanen yang tidak memadai, dan minimnya penerapan teknologi pengolahan di tingkat

usaha kecil dan menengah (UKM). Di sinilah peran teknologi hasil ternak menjadi sangat krusial sebagai jembatan antara produksi yang terus meningkat dan konsumsi yang aman serta berkualitas optimal (Troy *et al*., 2016).

Teknologi hasil ternak bukan sekadar cabang ilmu teknis yang mengurus cara merebus atau menggoreng daging. Ia merupakan disiplin ilmu terapan yang multidisiplin, mencakup kimia pangan, mikrobiologi, rekayasa proses, bioteknologi, hingga manajemen mutu dan regulasi pangan (Toldrà, 2010). Penguasaan teknologi ini memungkinkan transformasi bahan baku hasil ternak menjadi produk bernilai tinggi, memperpanjang umur simpan, menjamin keamanan pangan, serta membuka ruang inovasi produk yang adaptif terhadap perubahan kebutuhan pasar. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang teknologi hasil ternak menjadi kebutuhan yang tidak dapat ditawar bagi mahasiswa, peneliti, maupun praktisi industri peternakan.

Urgensi bidang ini juga tercermin dari kebijakan pembangunan nasional Indonesia. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024 secara eksplisit menargetkan peningkatan konsumsi protein hewani per kapita, penurunan angka stunting menjadi 14% pada tahun 2024, dan peningkatan daya saing produk pertanian termasuk produk peternakan di pasar domestik maupun ekspor (Bappenas, 2020). Target-target ini tidak dapat dicapai tanpa penguatan kapasitas teknologi di sepanjang rantai nilai hasil ternak.

Dalam konteks global, Indonesia memiliki peluang besar untuk memperluas ekspor produk hasil ternak

olahan bernilai tinggi. Produk olahan berbasis kearifan lokal seperti rendang kemasan, sosis halal, atau yogurt dengan kultur starter lokal memiliki potensi pasar yang signifikan di negara-negara dengan populasi Muslim besar maupun di kalangan diaspora Indonesia di mancanegara. Namun, untuk memanfaatkan peluang ini, diperlukan standar teknologi pengolahan yang memenuhi persyaratan keamanan pangan internasional, sistem sertifikasi yang diakui secara global, dan kapasitas inovasi produk yang berkelanjutan. Kondisi ini semakin menegaskan bahwa investasi dalam pengetahuan dan kapasitas teknologi hasil ternak adalah investasi strategis yang akan memberikan manfaat berlipat bagi perekonomian nasional (Kementan RI, 2023; FAO, 2022).

1.2 Definisi dan Ruang Lingkup Teknologi Hasil Ternak

Teknologi hasil ternak dapat didefinisikan sebagai serangkaian pengetahuan, metode, dan proses yang diterapkan untuk menghasilkan, mengolah, mengawetkan, dan meningkatkan kualitas produk yang bersumber dari ternak, guna memenuhi standar keamanan pangan, nilai gizi optimal, dan kebutuhan pasar (Soeparno, 2015; Lawrie dan Ledward, 2006). Definisi ini mencakup tiga dimensi utama yang menjadi benang merah buku ini, sebagaimana tercermin dalam judulnya: konsep dasar, pengolahan, dan inovasi produk.

Ruang lingkup "hasil ternak" perlu dipahami secara luas dan komprehensif. Secara umum, hasil ternak

dibagi menjadi dua kategori besar. Pertama adalah produk utama (primary products), yaitu daging, susu, dan telur yang secara langsung dikonsumsi sebagai sumber protein hewani berkualitas tinggi. Kedua adalah produk sampingan (by-products), yang meliputi kulit, bulu, tulang, darah, lemak, dan organ dalam yang memiliki nilai ekonomi tersendiri apabila diolah dengan teknologi yang tepat (Bhat *et al*., 2015). Kulit ternak, misalnya, merupakan bahan baku penting industri penyamakan leather, sementara kolagen dari tulang dan kulit dimanfaatkan secara luas dalam industri pangan fungsional, farmasi, dan kosmetik (Gómez-Estaca *et al*., 2010).

Penting untuk membedakan teknologi hasil ternak dari disiplin ilmu yang berdekatan. Ilmu produksi ternak (animal husbandry) berfokus pada aspek hulu: pemilihan bibit, manajemen pakan, reproduksi, dan kesehatan hewan. Ilmu gizi pangan membahas kandungan dan kebutuhan zat gizi manusia. Teknologi hasil ternak berada di antara keduanya, yaitu pada tahap transformasi produk dari ternak menjadi pangan berkualitas. Keterpaduan antar disiplin inilah yang menjadikan teknologi hasil ternak bidang yang dinamis dan terus berkembang seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan tuntutan masyarakat (Hui, 2012; Kerry *et al*., 2006).

Di Indonesia, teknologi hasil ternak juga memiliki dimensi sosial-budaya yang kuat. Keberagaman produk olahan ternak tradisional, seperti dendeng dari daging sapi, telur asin dari telur bebek, dangke dari susu kerbau di Sulawesi Selatan, serta berbagai produk fermentasi berbasis susu dan daging di berbagai daerah,

mencerminkan kekayaan kearifan lokal yang sesungguhnya merupakan aplikasi empiris prinsip-prinsip teknologi hasil ternak (Usmiati dan Abubakar, 2009; Muchtadi dan Sugiyono, 2013). Modernisasi teknologi tidak boleh menghapus warisan ini, melainkan harus menjadi jembatan untuk mengangkatnya ke tingkat yang lebih higienis, terstandar, dan berdaya saing tinggi.

1.3 Peran Strategis Industri Hasil Ternak dalam Perekonomian dan Ketahanan Pangan

Industri hasil ternak memiliki posisi strategis yang unik dalam sistem pangan dan perekonomian nasional. Dari perspektif ekonomi, sektor ini menyerap jutaan tenaga kerja di sepanjang rantai nilainya. Berdasarkan data Kementerian Pertanian RI (2023), lebih dari 4,6 juta rumah tangga di Indonesia menggantungkan pendapatan utama dari usaha peternakan. Nilai produksi sub-sektor peternakan nasional pada tahun 2022 diperkirakan mencapai Rp 248 triliun, menjadikannya salah satu kontributor terbesar dalam nilai produk domestik bruto pertanian (Kementan RI, 2023).

Nilai tambah yang dihasilkan dari proses pengolahan hasil ternak jauh melampaui nilai produk dalam bentuk mentahnya. Sebuah kilogram daging sapi segar yang diolah menjadi bakso premium dapat meningkatkan nilai jualnya hingga tiga hingga empat kali lipat. Susu segar yang diproses menjadi keju artisan atau yogurt probiotik dapat memberikan margin nilai tambah

yang jauh lebih besar dibandingkan dijual dalam bentuk susu pasteurisasi biasa. Fenomena ini menegaskan bahwa pengembangan industri hilir peternakan adalah strategi efektif untuk meningkatkan kesejahteraan seluruh pemangku kepentingan rantai pasok, dari peternak hulu hingga pedagang pengecer (Toldrà dan Reig, 2011).

Dari perspektif ketahanan pangan, protein hewani yang bersumber dari ternak adalah kontributor utama pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat, terutama asam amino esensial, vitamin B12, zat besi heme, dan kalsium yang bioavailabilitasnya jauh lebih tinggi dibandingkan sumber nabati (FAO/WHO, 2019; Wyness, 2016). Kekurangan konsumsi protein hewani, terutama pada kelompok rentan seperti balita, ibu hamil, dan lansia, berkontribusi pada masalah malnutrisi dan stunting yang masih menjadi tantangan serius di Indonesia. Prevalensi stunting nasional yang masih berada di angka 21,6% pada tahun 2022 (SSGI, 2022) menempatkan peningkatan aksesibilitas dan keterjangkauan produk hasil ternak berkualitas sebagai agenda pembangunan yang mendesak.

Di sisi lain, industri ini menghadapi tantangan ketahanan pangan dari dimensi keamanan pangan (food safety). Kasus keracunan pangan akibat produk hasil ternak yang terkontaminasi patogen, penggunaan bahan pengawet ilegal, atau rantai dingin yang tidak terjaga seringkali menjadi sorotan publik. Laporan BPOM RI (2022) mencatat bahwa produk olahan daging dan produk asal hewan masih masuk dalam kategori pangan berisiko tinggi yang menjadi penyebab utama kasus keracunan pangan di Indonesia. Oleh karena itu,

penguatan teknologi pengolahan dan sistem jaminan mutu adalah kewajiban moral dan legal yang tidak dapat dikompromikan.

Peran strategis industri hasil ternak juga terlihat nyata dalam konteks pemberdayaan ekonomi berbasis pedesaan. Sebagian besar usaha peternakan di Indonesia masih dijalankan oleh peternak rakyat berskala kecil, dengan kepemilikan rata-rata 1–3 ekor sapi atau 100–500 ekor ayam per rumah tangga (BPS, 2023). Pengembangan teknologi pengolahan sederhana yang dapat diakses oleh peternak kecil (seperti teknologi pembuatan yogurt, keju cottage, atau produk olahan daging skala rumah tangga) memiliki potensi transformatif untuk meningkatkan pendapatan dan ketahanan ekonomi keluarga peternak. Pendekatan ini sejalan dengan konsep agroindustri pedesaan yang telah terbukti berhasil meningkatkan kesejahteraan petani dan peternak di berbagai negara berkembang (FAO, 2014; Troy *et al*., 2016).

Selain itu, industri hasil ternak memiliki keterkaitan erat dengan industri-industri lain dalam ekosistem perekonomian nasional. Industri pakan ternak membutuhkan bahan baku dari sektor pertanian, sementara industri kemasan, bahan kimia pengolahan, peralatan mesin, dan transportasi dingin semuanya terhubung dan terstimulasi oleh dinamika industri hasil ternak. Efek multiplier (pengganda ekonomi) dari pengembangan industri hilir peternakan dengan demikian melampaui batas sektor peternakan itu sendiri dan merambah ke berbagai lini perekonomian nasional (Kementan RI, 2023).

1.4 Karakteristik Umum Hasil Ternak sebagai Komoditas Pangan

Salah satu karakteristik paling menonjol dari hasil ternak adalah sifatnya yang mudah rusak (highly perishable). Berbeda dengan biji-bijian atau kacang-kacangan yang dapat disimpan dalam kondisi kering selama berbulan-bulan, daging segar, susu, dan telur mengalami perubahan fisik, kimia, dan mikrobiologis yang cepat apabila tidak ditangani dengan benar. Kandungan air bebas yang tinggi (water activity/aw > 0,95 pada daging segar) dan kekayaan nutrisi menjadikan produk-produk ini substrat ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme perusak dan patogen (Nychas *et al*., 2008).

Secara kimiawi, daging mengandung sekitar 60–80% air, 16–22% protein, 1,5–13% lemak, serta mineral dan vitamin dalam jumlah signifikan. Susu sapi mengandung rata-rata 87,3% air, 3,5% protein, 3,5–4,0% lemak, 4,6–4,9% laktosa, serta berbagai mineral dan vitamin larut lemak maupun larut air (Walstra *et al*., 2006). Komposisi yang kaya inilah yang memberikan nilai gizi tinggi sekaligus menjadi faktor kerentanan produk. Protein terdenaturasi oleh panas berlebih, lemak mengalami oksidasi dan ketengikan (rancidity), sedangkan air bebas yang tinggi memfasilitasi pertumbuhan mikroba (Nychas *et al*., 2008; Toldrà, 2010).

Faktor biologis dari ternak itu sendiri turut mempengaruhi kualitas hasil ternak secara substansial. Bangsa atau breed ternak, jenis kelamin, umur pemotongan, kondisi pakan, dan status kesehatan hewan

berdampak pada karakteristik akhir produk. Stres pra-pemotongan (ante-mortem stress) yang menyebabkan penipisan glikogen otot, misalnya, menghasilkan daging dengan pH akhir tinggi (> 6,0) yang dikenal sebagai dark, firm, dry (DFD) meat, sementara kondisi sebaliknya menghasilkan pale, soft, exudative (PSE) meat yang berkualitas rendah (Puolanne dan Kivikari, 2000; Aberle *et al*., 2012). Pemahaman tentang hubungan antara manajemen hewan hidup dan kualitas produk akhir adalah fondasi yang tidak dapat diabaikan dalam teknologi hasil ternak.

Dari sisi keamanan pangan, kontaminasi mikrobiologis menjadi ancaman terbesar pada hasil ternak. Bakteri patogen utama yang berasosiasi dengan produk hasil ternak mencakup Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Escherichia coli O157:H7, Campylobacter jejuni, dan Staphylococcus aureus (EFSA dan ECDC, 2022). Kontaminasi dapat terjadi pada berbagai tahap, mulai dari proses pemotongan di rumah potong hewan (RPH), penanganan pascapanen, pengolahan, hingga distribusi dan penyiapan di tingkat konsumen.

Selain faktor mikrobiologis, aktivitas enzimatik juga menjadi determinan penting dalam perubahan kualitas hasil ternak pascapanen. Enzim proteolitik endogen (cathepsin dan calpain) yang secara alami terdapat dalam jaringan otot berperan dalam proses pelunakan daging (tenderisasi) selama penyimpanan dingin, yaitu proses yang dikenal sebagai aging atau conditioning. Meskipun dalam batas tertentu aktivitas proteolitik ini menguntungkan (meningkatkan keempukan daging), kelebihan aktivitas enzimatis dapat

menyebabkan kerusakan tekstur dan pembentukan senyawa-senyawa penyebab off-flavor (Dransfield, 2008). Pada susu, enzim lipase yang dihasilkan oleh bakteri psikrotrofik dapat menyebabkan ketengikan hidrolitik bahkan setelah proses pasteurisasi, karena beberapa lipase bersifat tahan panas (Walstra *et al*., 2006).

Karakteristik fisik hasil ternak juga perlu mendapat perhatian dalam konteks teknologi pengolahan. Warna daging, misalnya, dipengaruhi oleh status oksigenasi mioglobin (pigmen protein utama pada daging) yang dapat berubah tergantung kondisi penyimpanan, konsentrasi oksigen dalam atmosfer kemasan, dan kondisi pH daging. Daging segar berwarna merah cerah (oksimioglobin) saat terpapar oksigen cukup, tetapi dapat berubah menjadi cokelat (metmioglobin) pada kondisi oksigen rendah atau aktivitas bakteri yang tinggi. Kemampuan mempertahankan warna merah cerah pada daging segar adalah salah satu tantangan teknologi kemasan yang paling penting dalam industri retail daging modern (Nychas *et al*., 2008; Kerry *et al*., 2006).

1.5 Sejarah dan Evolusi Teknologi Pengolahan Hasil Ternak

Pengolahan hasil ternak sesungguhnya telah dilakukan manusia jauh sebelum era industrialisasi. Bukti arkeologis menunjukkan bahwa manusia prasejarah telah mengawetkan daging melalui pengeringan di bawah sinar matahari dan pengasapan sejak ribuan tahun yang lalu,

sebagai respons adaptif terhadap ketidakpastian ketersediaan pangan (Toldrà, 2010). Penggaraman (salting/curing) juga dikenal luas di berbagai peradaban kuno sebagai metode pengawetan yang efektif karena kemampuan garam dalam menurunkan water activity dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Fermentasi susu menjadi produk seperti yogurt dan keju diperkirakan telah berlangsung di Timur Tengah sejak sekitar 8.000 tahun sebelum masehi (Kindstedt, 2012).

Di Indonesia, warisan tradisi pengolahan hasil ternak sangat kaya dan beragam. Dendeng, produk daging kering berbumbu yang dikeringkan di bawah sinar matahari atau dipanggang, adalah bentuk pengawetan daging yang telah ada sejak era kerajaan Nusantara. Telur asin, dibuat melalui penggaraman telur bebek selama 7–30 hari, merupakan inovasi sederhana namun cerdas yang memanfaatkan prinsip osmosis untuk menurunkan water activity sekaligus memberikan cita rasa khas (Usmiati dan Abubakar, 2009). Dangke, keju tradisional dari susu kerbau asal Enrekang Sulawesi Selatan yang dikoagulasi dengan enzim dari getah pepaya (papain), merupakan bukti brilian bahwa kearifan lokal telah mengaplikasikan prinsip biokimia enzimatis jauh sebelum ilmu pangan modern berkembang (Winarno, 2017).

Babak baru dalam sejarah teknologi hasil ternak dimulai pada pertengahan abad ke-19. Pada tahun 1864, Louis Pasteur membuktikan bahwa pemanasan terkontrol pada suhu moderat (sekitar 63°C selama 30 menit, atau 72°C selama 15 detik dalam metode HTST) mampu membunuh mikroorganisme patogen dalam susu tanpa merusak nilai gizinya secara signifikan. Penemuan

pasteurisasi ini merevolusi industri susu global dan menjadi tonggak kelahiran ilmu pengolahan pangan modern berbasis bukti ilmiah (Walstra *et al*., 2006). Hampir bersamaan, penemuan proses pengalengan (canning) oleh Nicolas Appert (1809) membuka era baru pengawetan produk hewani dalam skala industri.

Abad ke-20 menjadi era percepatan luar biasa dalam teknologi hasil ternak. Pengembangan teknologi refrigerasi mekanis dan pembekuan cepat (quick freezing) oleh Clarence Birdseye pada tahun 1920-an merevolusi cara distribusi produk hasil ternak dalam skala global (Dransfield, 2008). Ditemukannya konsep HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points) pada tahun 1970-an sebagai kerangka manajemen keamanan pangan sistematis, yang kemudian diadopsi secara global melalui Codex Alimentarius, menandai lahirnya era manajemen keamanan pangan berbasis risiko (Mortimore dan Wallace, 2013).

Memasuki abad ke-21, inovasi dalam teknologi hasil ternak semakin akseleratif. Teknologi non-termal seperti High Pressure Processing (HPP), Pulsed Electric Fields (PEF), dan ultraviolet (UV) dikembangkan untuk mengawetkan produk hasil ternak dengan meminimalkan dampak termal terhadap atribut sensori dan nilai gizi (Barba *et al*., 2016). Kemasan aktif (active packaging) yang mengandung agen antimikroba atau antioksidan dan kemasan cerdas (intelligent packaging) yang memiliki sensor indikator kesegaran produk membuka dimensi baru dalam teknologi penyimpanan (Kerry *et al*., 2006). Di ujung spektrum inovasi, penelitian daging kultivasi (cultured meat) yang dikembangkan sejak demonstrasi

pertama oleh Mark Post pada tahun 2013 berpotensi mengubah lanskap industri peternakan secara fundamental dalam beberapa dekade mendatang (Post *et al*., 2020).

Transformasi digital juga mulai merambah industri hasil ternak secara signifikan. Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan suhu rantai dingin secara real-time dari hulu ke hilir, sehingga setiap penyimpangan dapat dideteksi dan diatasi sebelum berdampak pada kualitas produk. Kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) dan machine learning diaplikasikan untuk memprediksi umur simpan produk berdasarkan data sensor, mengoptimalkan formulasi produk, serta mendeteksi anomali dalam proses produksi secara otomatis (Troy *et al*., 2016). Teknologi blockchain mulai diujicobakan untuk membangun sistem traceability produk hasil ternak yang transparan dan tidak dapat dimanipulasi, memungkinkan konsumen melacak asal-usul produk dari peternakan hingga rak penjualan dengan memindai kode QR pada kemasan.

DAFTAR PUSTAKA

Aberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E. & Mills, E.W. 2012. *Principles of Meat Science*, 5th edn. Kendall Hunt Publishing, Dubuque.

Bappenas 2020. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024*. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Jakarta.

Barba, F.J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A.S. & Orlien, V. 2016. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 49, pp. 96–109. https://doi.org/ 10.1016/j.tifs.2016.01.006

Bhat, Z.F., Kumar, S. & Bhat, H.F. 2015. Bioactive peptides of animal origin: A review. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 9, pp. 5377–5392. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1663-9

BPOM RI 2022. *Laporan Tahunan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia 2022*. Badan Pengawas Obat dan Makanan, Jakarta.

BPS – Badan Pusat Statistik 2023. *Proyeksi Penduduk Indonesia 2020–2050 Hasil Sensus Penduduk 2020*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Ditjen PKH 2023. *Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan 2023*. Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, Kementerian Pertanian RI, Jakarta.

Dransfield, E. 2008. The taste of fat. *Meat Science*, vol. 80, no. 1, pp. 37–42. https://doi.org/10.1016/j.meatsci. 2008.05. 017

EFSA & ECDC 2022. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, vol. 20, no. 12, p. 7666. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7666

FAO 2013. *Tackling Climate Change through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO 2014. *Developing Sustainable Food Value Chains: Guiding Principles*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO 2022. *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging Automation in Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO/WHO 2019. *Sustainable Healthy Diets: Guiding Principles*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization, Rome.

Gómez-Estaca, J., Calvo, M.M., Gómez-Guillén, M.C. & Montero, P. 2010. Broad-spectrum antimicrobial activity of gelatin-chitosan films with plant extracts. *Food Hydrocolloids*, vol. 43, pp. 279–286.

Hui, Y.H. (ed.) 2012. *Handbook of Meat and Meat Processing*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton.

Kementan RI 2023. *Outlook Peternakan 2023*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Jakarta.

Kemenperin RI 2022. *Peta Jalan Pengembangan Industri Pangan Berbasis Protein Hewani 2022–2035*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, Jakarta.

Kerry, J.P., O'Grady, M.N. & Hogan, S.A. 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, vol. 74, no. 1, pp. 113–130.

Kindstedt, P.S. 2012. *Cheese and Culture: A History of Cheese and Its Place in Western Civilization*. Chelsea Green Publishing, Vermont.

Lawrie, R.A. & Ledward, D.A. 2006. *Lawrie's Meat Science*, 7th edn. Woodhead Publishing, Cambridge.

Mortimore, S. & Wallace, C. 2013. *HACCP: A Practical Approach*, 3rd edn. Springer, New York.

Muchtadi, T.R. & Sugiyono 2013. *Prinsip Proses dan Teknologi Pangan*. Alfabeta, Bandung.

Nychas, G.J.E., Skandamis, P.N., Tassou, C.C. & Koutsoumanis, K.P. 2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, vol. 78, no. 1–2, pp. 77–89.

Poore, J. & Nemecek, T. 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, vol. 360, no. 6392, pp. 987–992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216

Porter, M.E. 1985. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press, New York.

Post, M.J., Levenberg, S., Kaplan, D.L., Genovese, N., Fu, J., Bryant, C.J. & Verzijden, K. 2020. Scientific,

sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, vol. 1, no. 7, pp. 403–415. https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z

Puolanne, E. & Kivikari, R. 2000. Determination of the buffer capacity of meat. *Meat Science*, vol. 56, no. 1, pp. 7–13.

Riaz, M.N. & Chaudry, M.M. 2004. *Halal Food Production*. CRC Press, Boca Raton.

Rubio, N.R., Xiang, N. & Kaplan, D.L. 2020. Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nature Communications*, vol. 11, no. 1, p. 6276. https://doi.org/10.1038/s41467-020-20061-y

Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andrés, A.I. & García, C. 2000. Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, vol. 33, no. 2, pp. 91–95.

Siegrist, M. & Hartmann, C. 2019. Impact of sustainability perception on consumption of organic meat and meat substitutes. *Appetite*, vol. 132, pp. 196–202.

Soeparno 2015. *Ilmu dan Teknologi Daging*, 6th edn. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

SSGI 2022. *Survei Status Gizi Indonesia Tahun 2022*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.

Toldrà, F. (ed.) 2010. *Handbook of Meat Processing*. Blackwell Publishing, Iowa.

Toldrà, F. & Reig, M. 2011. Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, no. 9, pp. 517–522.

Troy, D.J., Ojha, K.S., Kerry, J.P. & Tiwari, B.K. 2016. Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *Meat Science*, vol. 120, pp. 2–9.

Usmiati, S. & Abubakar 2009. *Teknologi Pengolahan Susu*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Bogor.

Walstra, P., Wouters, J.T.M. & Geurts, T.J. 2006. *Dairy Science and Technology*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton.

WHO 2014. *Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance*. World Health Organization, Geneva.

Winarno, F.G. 2017. *Ilmu Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Wyness, L. 2016. The role of red meat in the diet: Nutrition and health benefits. *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 75, no. 3, pp. 227–232. https://doi.org/10.1017/S002966 5115004267

BAB 2
KOMPOSISI DAN NILAI GIZI PRODUK TERNAK

Produk ternak atau pangan asal ternak mencakup daging, susu, telur, dan berbagai hasil olahannya yang berasal dari hewan ternak darat. Dalam perspektif gizi manusia, kelompok pangan ini penting bukan semata-mata karena kandungan proteinnya tinggi, tetapi juga karena memiliki kerapatan gizi yang besar serta menyediakan sejumlah zat gizi dengan bioavailabilitas baik, seperti zat besi heme, vitamin B12, seng, selenium, kalsium, kolin, dan berbagai senyawa bioaktif (FAO, 2023; WHO, 2026). Karena itu, pangan asal ternak sebaiknya dipahami sebagai bagian dari pola makan seimbang yang beragam, bukan sebagai satu-satunya penentu kualitas diet.

Dalam ilmu teknologi hasil ternak, pemahaman tentang komposisi dan nilai gizi produk ternak sangat mendasar. Komposisi menentukan sifat fungsional bahan, respons terhadap pengolahan, kestabilan selama penyimpanan, cita rasa, warna, tekstur, serta peluang pengembangan produk baru. Dengan kata lain, teknologi

pengolahan tidak bisa dipisahkan dari karakter biokimia bahan baku. Susu dengan kandungan padatan dan protein berbeda akan menunjukkan perilaku koagulasi yang berbeda; daging dengan kadar lemak intramuskular berbeda akan menghasilkan mutu sensori dan nilai gizi yang berbeda; demikian pula telur dengan komposisi kuning dan putih telur yang tidak sama akan memengaruhi fungsi emulsifikasi, pembentukan busa, dan kestabilan produk (Listrat *et al*., 2016; Réhault-Godbert *et al*., 2019; Mulet-Cabero *et al*., 2024).

Bab ini bertujuan menjelaskan komposisi utama dan nilai gizi produk ternak secara ringkas tetapi analitis. Selain mengulas kandungan zat gizi utama pada daging, susu, dan telur, bab ini juga membahas faktor-faktor yang memengaruhi variasi komposisi tersebut, implikasinya bagi pengolahan, serta arah inovasi produk peternakan yang relevan dengan kebutuhan konsumen modern, yaitu produk yang aman, bergizi, praktis, dan semakin fungsional.

2.1 Ruang Lingkup Komposisi dan Nilai Gizi Produk Ternak

Secara umum, komposisi produk ternak dapat dipahami melalui dua sudut pandang. Sudut pandang pertama ialah komposisi proksimat, yaitu air, protein, lemak, karbohidrat, dan abu/mineral. Sudut pandang kedua ialah komposisi fungsional-gizi, yang mencakup jenis asam amino, profil asam lemak, vitamin, mineral, serta komponen bioaktif lain yang memberikan efek

fisiologis tertentu. Dalam praktik teknologi hasil ternak, kedua sudut pandang ini saling melengkapi. Kadar air memengaruhi umur simpan dan rendemen; protein menentukan kapasitas pengikatan air, struktur gel, dan mutu biologis; lemak berkaitan dengan energi, cita rasa, tekstur, dan stabilitas oksidatif; sedangkan mikronutrien dan bioaktif memberi dimensi kesehatan yang semakin diperhatikan konsumen (Rueda García *et al*., 2024; Auestad & Layman, 2021).

Produk ternak juga tidak homogen. Daging merah, daging unggas, susu sapi, susu kambing, susu kerbau, telur ayam, dan telur unggas lain memiliki komposisi yang berbeda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh spesies, bangsa ternak, umur, jenis kelamin, kualitas pakan, sistem pemeliharaan, hingga perlakuan pascapanen dan pengolahan (Rueda García *et al*., 2024; Rafiq *et al*., 2016). Oleh sebab itu, pembahasan nilai gizi produk ternak sebaiknya tidak menggunakan pendekatan seragam, melainkan memperhitungkan keragaman biologis dan teknologi yang menyertainya.

Tabel 2. 1 Ringkasan komposisi proksimat utama beberapa produk ternak

Produk	**Air**	**Protein**	**Komponen lain utama**
Daging segar	±75%	±20%	Lemak umumnya 1–10%; karbohidrat sangat kecil

Produk	Air	Protein	Komponen lain utama
Susu sapi	±87%	±3,5%	Lemak 3–4%; laktosa ±5%
Telur utuh segar	±76,1%	12,6%	Lemak 9,5%; karbohidrat 0,7%; abu 1,1%

Sumber sintesis penulis berdasarkan Listrat et al. (2016), Rueda García et al. (2024), Holven dan Sonestedt (2024), serta Réhault-Godbert et al. (2019).

2.2 Komposisi dan Nilai Gizi Daging

2.2.1 Komponen utama daging

Daging merupakan jaringan otot yang setelah pemotongan ternak masih membawa komponen utama berupa air, protein, lemak, mineral, pigmen, serta sejumlah kecil karbohidrat dan senyawa nitrogen nonprotein. Otot rangka pada umumnya mengandung sekitar 75% air, 20% protein, 1–10% lemak, dan sekitar 1% glikogen, walaupun komposisinya sangat bervariasi menurut spesies, umur, potongan karkas, dan status nutrisi ternak (Listrat *et al*., 2016). Secara praktis, semakin tinggi kadar lemak, biasanya semakin rendah kadar air. Hubungan ini penting dalam pengolahan karena menentukan juiciness, rendemen pemasakan, dan kestabilan produk.

Daging sering dibedakan menjadi daging merah dan daging putih. Dari sisi gizi, keduanya sama-sama merupakan sumber protein berkualitas tinggi, tetapi dapat berbeda pada kandungan mioglobin, lemak, dan beberapa mikronutrien. Daging ruminansia cenderung memiliki kadar zat besi dan vitamin B12 yang lebih tinggi, sedangkan daging unggas umumnya lebih rendah lemak total pada potongan tanpa kulit. Meskipun demikian, variasi antarbagian karkas sering kali lebih besar daripada variasi antarkelompok tersebut. Potongan berlemak akan memberikan energi lebih tinggi, sedangkan potongan yang lebih kurus lebih sesuai untuk formulasi produk rendah lemak (Geiker *et al*., 2021; Mortensen *et al*., 2024).

2.2.2 Protein dan mutu biologis daging

Keunggulan gizi utama daging terletak pada kandungan protein dengan mutu biologis tinggi. Protein daging menyumbang seluruh asam amino esensial dalam proporsi yang baik untuk kebutuhan manusia, sehingga sering dijadikan pembanding mutu protein pangan lain. Selain kuantitas protein, daging juga menyediakan senyawa terkait protein seperti kreatin, karnitin, dan taurin yang memiliki fungsi fisiologis tertentu dan banyak dibahas dalam konteks metabolisme energi serta fungsi otot (FAO, 2023; Geiker *et al*., 2021).

Dalam teknologi pengolahan, protein daging memiliki fungsi struktural yang sangat penting. Protein miofibrilar, khususnya miosin dan aktin, bertanggung jawab terhadap pembentukan gel, daya ikat air, dan tekstur pada produk seperti sosis, bakso, nugget, dan

produk restrukturisasi. Artinya, kualitas protein daging tidak hanya penting untuk nutrisi, tetapi juga menentukan keberhasilan proses pengolahan. Bila denaturasi protein terjadi secara berlebihan akibat panas, garam, pH, atau pembekuan-pencairan yang tidak terkendali, mutu tekstur dan daya ikat air produk akan menurun.

2.2.3 Lemak daging dan implikasi gizinya

Lemak daging bersifat ambivalen: di satu sisi ia meningkatkan cita rasa, keempukan, dan penerimaan sensori; di sisi lain, komposisi asam lemaknya menjadi perhatian kesehatan masyarakat. Daging mengandung campuran asam lemak jenuh, tak jenuh tunggal, dan tak jenuh ganda. Komposisinya dipengaruhi spesies ternak, sistem pemberian pakan, lokasi lemak di tubuh, dan tingkat pengolahan. Geiker *et al*. (2021) menegaskan bahwa penilaian terhadap daging tidak dapat hanya didasarkan pada total lemak, melainkan juga pada derajat pengolahan, pola makan secara keseluruhan, dan jumlah konsumsi.

Dari perspektif inovasi, tantangan utama industri daging modern ialah mempertahankan mutu sensori sambil memperbaiki profil gizinya. Berbagai strategi reformulasi dikembangkan, misalnya menurunkan kadar lemak total, mengganti sebagian lemak hewan dengan minyak nabati atau emulsi berbasis asam lemak tak jenuh, menurunkan garam, dan mengganti nitrit sintetis dengan sumber alami atau pendekatan teknologi lain. Ulasan Rodrigues *et al*. (2023) menunjukkan bahwa reformulasi seperti ini berpotensi meningkatkan citra kesehatan produk daging, tetapi harus dikerjakan hati-hati agar

tidak menurunkan keamanan, kestabilan oksidatif, dan penerimaan konsumen.

2.2.4 Vitamin, mineral, dan bioavailabilitas

Daging merupakan sumber zat besi, seng, selenium, fosfor, niasin, vitamin B6, dan vitamin B12 yang sangat penting, dengan keunggulan khusus pada bioavailabilitas. Zat besi heme dalam daging lebih mudah diserap dibandingkan zat besi nonheme dari banyak pangan nabati. Bagi kelompok rentan seperti anak, remaja, ibu hamil, dan lanjut usia, kontribusi gizi ini sangat relevan, terutama di wilayah yang masalah kekurangan zat besinya masih tinggi (FAO, 2023). Di sisi lain, manfaat gizi tersebut perlu ditempatkan dalam prinsip moderasi, karena konsumsi daging olahan secara berlebihan dikaitkan dengan risiko kesehatan yang lebih tinggi dibanding daging segar atau minimally processed meat (FAO, 2023; Geiker *et al*., 2021).

2.3 Komposisi dan Nilai Gizi Susu

2.3.1 Susu sebagai matriks pangan kompleks

Susu adalah emulsi dan suspensi biologis yang sangat kompleks. Air merupakan komponen terbesar susu, sedangkan komponen padatannya terdiri atas lemak, protein, laktosa, mineral, vitamin, enzim, serta berbagai komponen minor bioaktif. Tinjauan mutakhir menunjukkan bahwa susu sapi pada umumnya mengandung sekitar 3–4% lemak, sekitar 3,2–3,5% protein, dan kurang lebih 5% laktosa, walaupun angka ini

berubah menurut bangsa ternak, pakan, musim, dan fase laktasi (Holven & Sonestedt, 2024; Beckett *et al*., 2024). Karena itu, susu bukan hanya bahan pangan, tetapi juga bahan baku teknologi yang perilakunya sangat dipengaruhi oleh komposisi.

Variasi antarspesies pada susu cukup besar. Susu kerbau, misalnya, memiliki kandungan lemak tinggi dan sangat sesuai untuk pembuatan keju dan produk berpadatan tinggi. Susu domba kaya lemak dan protein sehingga unggul untuk yoghurt dan keju. Susu kambing sering dinilai lebih mudah dicerna oleh sebagian konsumen karena karakter globula lemak dan kurd yang berbeda, sementara susu unta dikenal memiliki keunggulan pada vitamin C dan proporsi asam lemak tak jenuh tertentu (Rafiq *et al*., 2016; Rueda García *et al*., 2024). Bagi teknologi hasil ternak, variasi ini membuka peluang diferensiasi produk berdasarkan jenis susu dan segmen pasar.

2.3.2 Protein susu: casein, whey, dan komponen bioaktif

Dari sisi protein, susu terutama tersusun atas casein dan whey protein. Sekitar 80% protein susu sapi adalah casein dan sekitar 20% merupakan whey protein, walaupun proporsi ini dapat bervariasi menurut spesies dan tahapan laktasi (Davoodi *et al*., 2016). Casein penting untuk pembentukan micelle dan sifat koagulasi, sehingga sangat menentukan pembuatan keju, yoghurt, dan produk fermentasi lain. Sebaliknya, whey protein dikenal memiliki kelarutan tinggi, profil asam amino esensial yang

baik, dan banyak dimanfaatkan pada minuman tinggi protein, pangan olahraga, serta formula klinis.

Selain fungsi nutrisi dasarnya, protein susu juga menarik karena dapat melepaskan peptida bioaktif selama fermentasi, hidrolisis enzimatis, atau pencernaan. Auestad dan Layman (2021) menjelaskan bahwa peptida dan asam amino yang berasal dari protein susu dapat berkontribusi terhadap fungsi fisiologis tertentu, sehingga produk susu kian dipandang bukan hanya sebagai pangan konvensional, tetapi juga sebagai matriks untuk pangan fungsional. Hal ini menjelaskan mengapa produk fermentasi, konsentrat protein, whey beverage, dan dairy ingredient menjadi bidang yang terus berkembang dalam inovasi peternakan.

2.3.3 Lemak susu, laktosa, dan mikronutrien

Lemak susu berperan besar dalam rasa, mouthfeel, warna, dan nilai energi. Fraksi ini juga membawa vitamin larut lemak dan berkontribusi pada pembentukan aroma khas produk susu. Namun, seperti pada daging, kualitas gizi lemak susu kini dinilai tidak hanya dari jumlahnya, tetapi juga dari konteks konsumsi, struktur matriks pangan, dan tingkat pengolahan. Konsep dairy matrix menegaskan bahwa efek fisiologis produk susu tidak selalu dapat diprediksi hanya dari satu zat gizi, sehingga pengembangan susu rendah lemak, fermentasi, ataupun produk berprotein tinggi perlu mempertimbangkan struktur pangannya secara utuh (Mulet-Cabero *et al*., 2024; WHO, 2026).

Karbohidrat utama susu adalah laktosa. Dari sudut pandang teknologi, laktosa memengaruhi rasa,

pencokelatan Maillard pada pengolahan tertentu, dan menjadi substrat penting pada fermentasi asam laktat. Secara gizi, susu dan produk susu berkontribusi signifikan terhadap asupan kalsium, magnesium, selenium, riboflavin, vitamin B12, serta beberapa zat gizi lain yang sering kurang dalam diet tertentu (FAO, n.d.). Keunggulan susu bukan hanya pada banyaknya zat gizi, tetapi juga pada bentuk matriksnya yang memudahkan konsumsi oleh berbagai kelompok umur.

2.3.4 Susu dan produk olahannya dalam perspektif inovasi

Salah satu kekuatan susu adalah kemampuannya untuk diubah menjadi sangat banyak bentuk produk: susu cair, susu fermentasi, yoghurt, kefir, keju, mentega, susu bubuk, whey powder, hingga protein isolates. Transformasi ini bukan sekadar memperpanjang umur simpan, tetapi juga memodifikasi profil sensori, digestibilitas, dan nilai tambah ekonomi. Wróblewska *et al*. (2023) menunjukkan bahwa fermentasi dapat meningkatkan pembentukan peptida bioaktif dan memperkaya fungsi biologis produk susu, sementara pengeringan dan fraksinasi memungkinkan lahirnya bahan baku bernilai tinggi untuk pangan khusus.

2.4 Komposisi dan Nilai Gizi Telur

2.4.1 Telur sebagai pangan lengkap

Telur sering disebut sebagai salah satu pangan paling lengkap karena mengandung hampir semua zat gizi

yang diperlukan untuk pertumbuhan embrio. Telur utuh segar terdiri atas sekitar 76,1% air, 12,6% protein, 9,5% lemak, 0,7% karbohidrat, dan 1,1% mineral atau abu (Réhault-Godbert *et al*., 2019). Komposisi ini menunjukkan bahwa telur adalah pangan padat zat gizi dengan distribusi fraksi yang unik: putih telur terutama kaya air dan protein, sedangkan kuning telur menjadi pusat lipid, vitamin larut lemak, fosfolipid, kolin, dan banyak mineral.

Keistimewaan telur dari sudut teknologi pangan terletak pada multifungsi proteinnya. Putih telur sangat baik untuk pembentukan busa dan pengembangan produk bakery, sedangkan kuning telur unggul sebagai emulsifier alami karena kandungan lesitin dan fosfolipidnya. Karena itu, telur tidak hanya bernilai sebagai bahan konsumsi langsung, tetapi juga sebagai bahan fungsional pada industri roti, mi, saus, mayones, dessert, dan produk pangan rekayasa.

2.4.2 Protein, lemak, dan mikronutrien telur

Protein telur dikenal memiliki mutu biologis sangat tinggi dan kerap dijadikan acuan dalam evaluasi kualitas protein. Telur juga merupakan sumber kolin, selenium, vitamin A, vitamin D, riboflavin, folat, dan vitamin B12. Réhault-Godbert *et al*. (2019) dan Myers dan Ruxton (2023) menekankan bahwa telur bukan sekadar sumber makronutrien, tetapi juga pembawa komponen bioaktif yang relevan untuk mutu diet. Dalam konteks gizi masyarakat, kelebihan telur adalah ukurannya yang praktis, harganya relatif terjangkau, dan kemudahan penggunaannya di tingkat rumah tangga maupun industri.

Pada telur, isu lemak sering berpusat pada kolesterol kuning telur. Akan tetapi, kajian yang lebih mutakhir menilai telur secara lebih komprehensif, yakni melihat matriks pangannya secara utuh dan mempertimbangkan pola makan keseluruhan. Bukti mutakhir menunjukkan bahwa pada orang dewasa sehat, konsumsi telur pada tingkat wajar umumnya tidak menunjukkan hubungan yang konsisten dengan luaran kardiometabolik yang merugikan, meskipun konsumsi tetap perlu berada dalam konteks diet seimbang (FAO, 2023; Myers & Ruxton, 2023; Kuang *et al*., 2018). Ini berarti, dari perspektif teknologi hasil ternak, inovasi telur tidak harus berangkat dari upaya menghilangkan kuning telur, tetapi dapat diarahkan pada peningkatan kualitas keseluruhan produk.

2.4.3 Peluang inovasi telur

Telur merupakan media inovasi yang sangat menjanjikan karena komposisinya dapat dipengaruhi melalui pakan. Praktik pengayaan omega-3, selenium, vitamin tertentu, atau pigmen kuning telur telah menunjukkan bahwa nilai fungsional telur dapat ditingkatkan tanpa mengubah kebiasaan konsumsi masyarakat secara drastis. Selain itu, industri juga mengembangkan produk turunan seperti telur cair pasteurisasi, bubuk telur, albumen powder, dan bahan emulsifier khusus. Dengan demikian, telur berada pada titik temu yang menarik antara nutrisi, teknologi, dan pemasaran produk fungsional (Usturoi *et al*., 2025).

2.5 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Komposisi dan Nilai Gizi Produk Ternak

Komposisi produk ternak tidak bersifat tetap. Faktor biologis seperti spesies, genetik, umur, jenis kelamin, fase pertumbuhan, dan status fisiologis sangat menentukan komposisi dasar bahan. Pada susu, fase laktasi dan pakan memengaruhi kadar lemak, protein, dan total padatan. Pada daging, umur dan tingkat kegemukan memengaruhi kadar lemak intramuskular, keempukan, dan densitas energi. Pada telur, strain ayam, umur induk, dan formulasi pakan dapat memodifikasi bobot telur, proporsi kuning-putih telur, warna kuning telur, serta kandungan lipid tertentu (Rueda García *et al*., 2024; Rafiq *et al*., 2016; Réhault-Godbert *et al*., 2019).

Faktor teknologi setelah panen juga sangat berpengaruh. Pendinginan, pembekuan, pemanasan, fermentasi, pengeringan, pengasapan, curing, dan pasteurisasi dapat memperbaiki keamanan dan umur simpan, tetapi sekaligus mengubah tekstur, ketersediaan zat gizi, dan kestabilan komponen sensitif. Proses pemanasan yang terlalu tinggi, misalnya, dapat menurunkan sebagian vitamin sensitif panas; oksidasi lemak dapat menurunkan mutu sensorik sekaligus nilai gizi; sedangkan fermentasi pada susu dapat meningkatkan digestibilitas dan menimbulkan senyawa bioaktif baru (Auestad & Layman, 2021; Wróblewska *et al*., 2023).

Selain itu, nilai gizi akhir yang diterima konsumen juga ditentukan oleh bentuk produk. Daging segar berbeda dengan sosis, nugget, atau dendeng; susu segar

berbeda dengan yoghurt, keju, atau whey powder; telur utuh berbeda dengan egg powder atau produk bakery berbasis telur. Dengan demikian, pembahasan nilai gizi produk ternak perlu selalu mempertimbangkan konteks bahan baku, proses, formulasi, dan pola konsumsi.

Tabel 2. 2 Implikasi praktis variasi komposisi terhadap pengolahan

Produk	**Variasi komposisi yang menonjol**	**Implikasi teknologi**
Daging	Kadar lemak dan air berubah menurut spesies, umur, dan bagian karkas	Memengaruhi juiciness, rendemen, tekstur, oksidasi, dan densitas energi
Susu	Padatan total, casein, lemak, dan laktosa dipengaruhi spesies, laktasi, dan pakan	Menentukan rendemen keju/yoghurt, kestabilan, dan karakter sensori
Telur	Proporsi kuning-putih telur dan profil lipid dipengaruhi strain, umur induk, dan pakan	Memengaruhi pembusaan, emulsifikasi, warna, dan peluang fortifikasi

Sumber sintesis penulis berdasarkan Rueda García et al. (2024), Holven dan Sonestedt (2024), Auestad dan Layman (2021), Réhault-Godbert et al. (2019), dan Geiker et al. (2021).

DAFTAR PUSTAKA

Auestad, N., & Layman, D. K. (2021). Dairy bioactive proteins and peptides: A narrative review. Nutrition Reviews, 79(Suppl. 2), 36–47.

Beckett, E. L., Cassettari, T., Starck, C., & Fayet-Moore, F. (2024). Dairy milk: There are alternatives but no equivalents. Food Science & Nutrition, 12(10), 8470–8482.

Consalez, F., Ahern, M., Andersen, P. M., & Kjellevold, M. (2022). The Effect of the Meat Factor in Animal-Source Foods on Micronutrient Absorption: A Scoping Review. Advances in Nutrition, 13(6), 2305–2315.

Davoodi, S. H., Shahbazi, R., Esmaeili, S., Sohrabvandi, S., Mortazavian, A. M., Jazayeri, S., & Taslimi, A. (2016). Health-related aspects of milk proteins. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 15(3), 573–591.

FAO. (2023). Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes: An evidence and policy overview on the state of knowledge and gaps. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Geiker, N. R. W., Bertram, H. C., Mejborn, H., Dragsted, L. O., Kristensen, L., Carrascal, J. R., Bügel, S., & Astrup, A. (2021). Meat and human health—Current knowledge and research gaps. Foods, 10(7), 1556.

Holven, K. B., & Sonestedt, E. (2024). Milk and dairy products – a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. Food & Nutrition Research, 68.

Jaworska, D., & Sadowka, A. (2024). Strategies to Improve the Functional Value of Meat and Meat Products. Foods, 13(15), 2433.

Kuang, H., Yang, F., Zhang, Y., Wang, T., & Chen, G. (2018). The Impact of Egg Nutrient Composition and Its Consumption on Cholesterol Homeostasis. Cholesterol, 2018, 6303810.

Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. The Scientific World Journal, 2016, 3182746.

Mortensen, E. G., Fuerniss, H. F., Legako, J. F., Thompson, L. D., & Woerner, D. R. (2024). Nutrient Analysis of Raw and Cooked USDA Prime Beef Cuts. Nutrients, 16(17), 2912.

Mulet-Cabero, A. I., Thorning, T. K., Berendsen, A. A. M., Givens, D. I., Lovegrove, J. A., Astrup, A., & Soedamah-Muthu, S. S. (2024). The Dairy Matrix: Its Importance, Definition, and Current Application in the Context of Nutrition and Health. Nutrients, 16(17), 2908.

Myers, M., & Ruxton, C. H. S. (2023). Eggs: Healthy or Risky? A Review of Evidence from High Quality Studies on Hen's Eggs. Nutrients, 15(12), 2657.

Rafiq, S., Huma, N., Pasha, I., Sameen, A., Mukhtar, O., & Khan, M. I. (2016). Chemical composition, nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 29(7), 1022–1028.

Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The golden egg: Nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. Nutrients, 11(3), 684.

Rodrigues, S. S. Q., Vasconcelos, L., Leite, A., Ferreira, I., Pereira, E., & Teixeira, A. (2023). Novel Approaches to Improve Meat Products' Healthy Characteristics: A Review on Lipids, Salts, and Nitrites. Foods, 12(15), 2962.

Rueda García, A. M., Fracassi, P., Scherf, B. D., Hamon, M., & Iannotti, L. (2024). Unveiling the Nutritional Quality of Terrestrial Animal Source Foods by Species and Characteristics of Livestock Systems. Nutrients, 16(19), 3346.

Usturoi, M. G., Rațu, R. N., Crivei, I. C., Veleșcu, I. D., Usturoi, A., Stoica, F., & Rusu, R.-M. R. (2025). Unlocking the Power of Eggs: Nutritional Insights, Bioactive Compounds, and the Advantages of Omega-3 and Omega-6 Enriched Varieties. Agriculture, 15(3), 242.

WHO. (2026). Healthy diet. Geneva: World Health Organization.

Wróblewska, B., Kuliga, A., & Wnorowska, K. (2023). Bioactive dairy-fermented products and phenolic compounds: Together or apart. Molecules, 28(24), 8081.

Tim Pengembangan MKDP Kurikulum dan Pembelajaran. (2011).*Kurikulum dan Pembelajaran*. Jakarta Utara: PT Raja Grafindo Persada.

BAB 3
TEKNOLOGI PENGOLAHAN DAGING DAN PRODUK OLAHANNYA

3.1 Teknologi Pengolahan Daging

Daging merupakan bahan pangan asal hewan yang bernilai gizi tinggi karena menyediakan protein dengan susunan asam amino esensial yang lengkap, lipid, vitamin larut air dan larut lemak, mineral, terutama besi dan seng serta berbagai senyawa bioaktif. Sifat tersebut membuat daging berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan rumah tangga dan penyediaan bahan baku industri. Namun, kandungan air, protein, dan zat gizi yang tinggi juga menjadikan daging sebagai substrat yang mudah mengalami perubahan fisik, kimia, dan mikrobiologis apabila penanganan setelah pemotongan tidak terkendali (Khalid *et al*., 2023; S. Lee *et al*., 2023)

Kerusakan daging umumnya muncul melalui interaksi pertumbuhan mikroorganisme, oksidasi lipid dan protein, perubahan pigmen, aktivitas enzim endogen, kehilangan cairan, serta kontaminasi silang selama

penanganan. Perubahan tersebut dapat dikenali dari warna yang menyimpang, aroma tidak normal, permukaan berlendir, tekstur yang terlalu lunak atau keras, penurunan daya ikat air, dan rasa yang tidak dapat diterima. Karena itu, mutu produk akhir tidak dapat dipisahkan dari kualitas bahan baku, higiene pekerja, sanitasi peralatan, pengendalian suhu, dan kecepatan proses sejak karkas dihasilkan (Codex Alimnentarius, 2023; Khalid *et al*., 2023)

Dalam industri pangan modern, pengolahan daging tidak hanya berarti memasak atau mengawetkan. Pengolahan merupakan sistem terpadu yang mencakup seleksi bahan baku, standardisasi formula, pengendalian proses, validasi keamanan, pengemasan, rantai dingin, pencatatan batch, dan pengujian umur simpan. Pendekatan sistem diperlukan karena kegagalan pada satu titik misalnya suhu ruang produksi yang terlalu tinggi atau pendinginan yang terlambat dapat meniadakan kendali yang telah diterapkan pada tahap lain (Codex Alimnentarius, 2023)

OECD dan FAO memproyeksikan konsumsi daging dunia tetap meningkat sampai 2034, terutama pada komoditas unggas. Peningkatan kebutuhan tersebut mendorong industri untuk menghasilkan produk secara lebih higienis, efisien, terdokumentasi, dan konsisten, sekaligus menanggapi tuntutan konsumen terhadap produk rendah garam, berlabel bersih, praktis, serta memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah (Inguglia *et al*., 2023; OECD-FAO, 2025).

Perkembangan otomatisasi, visi mesin, kecerdasan

buatan, sensor proses, dan robotika juga mengubah cara industri daging mengendalikan mutu. Teknologi tersebut dapat membantu pemotongan presisi, klasifikasi karkas, inspeksi visual, pengemasan, dan penelusuran data. Meskipun demikian, variasi bentuk biologis, tekstur jaringan yang mudah berubah, kondisi lingkungan yang lembap, dan kebutuhan sanitasi yang ketat membuat penerapan otomasi pada industri daging tetap memerlukan validasi teknis dan pengawasan manusia (Lyu *et al*., 2025)

3.2 Tujuan Pengolahan

a. Memperpanjang umur simpan dengan memperlambat atau menghentikan pertumbuhan mikroba dan reaksi kerusakan. Pendinginan, pembekuan, penurunan aktivitas air, pengasaman, pemanasan, pengemasan, dan teknologi nontermal bekerja melalui mekanisme yang berbeda. Dalam praktik modern, beberapa mekanisme sering digabungkan agar satu hambatan tidak harus diterapkan secara ekstrem; pendekatan ini dikenal sebagai hurdle technology (Y. Lee & Yoon, 2024; Li *et al*., 2025)
b. Meningkatkan keamanan pangan. Proses harus dirancang untuk mengurangi bahaya biologis, kimia, dan fisik sampai tingkat yang dapat diterima. Pemanasan memberikan letalitas mikroba, sedangkan HPP, PEF, plasma dingin, dan perlakuan permukaan dapat digunakan sebagai intervensi tambahan. Efektivitas proses harus

dibuktikan dengan data, bukan hanya berdasarkan kebiasaan produksi (Codex Alimnentarius, 2023; Y. Lee & Yoon, 2024)

c. Meningkatkan nilai tambah ekonomi. Daging segar dapat diubah menjadi potongan siap masak, daging giling, sosis, bakso, nugget, dendeng, abon, ham, atau produk siap santap. Transformasi tersebut meningkatkan kemudahan penggunaan, konsistensi porsi, variasi sensori, dan peluang pemanfaatan potongan bernilai rendah. Nilai tambah hanya berkelanjutan apabila rendemen, keamanan, stabilitas, dan penerimaan konsumen dikendalikan secara bersamaan (Samad *et al*., 2024)
d. Membentuk karakter sensori. Penggilingan, pencampuran, pemanasan, fermentasi, pengasapan, dan marinasi dapat membentuk warna, aroma, rasa, keempukan, kerenyahan, kekenyalan, dan juiciness yang spesifik. Rekayasa sensori perlu mempertimbangkan interaksi protein, air, lemak, garam, gula, rempah, serta reaksi pencokelatan selama pemanasan (Khalid *et al*., 2023

3.3 Prinsip Dasar Pengolahan Daging

3.3.1 Prinsip Termal

Teknologi termal menggunakan energi panas untuk menginaktivasi mikroorganisme, menonaktifkan

enzim tertentu, membentuk tekstur, dan menghasilkan flavor matang. Efektivitasnya bergantung pada suhu, waktu, kecepatan perpindahan panas, ukuran produk, komposisi, dan posisi titik terdingin. Semakin tinggi letalitas yang ditargetkan, semakin besar kemungkinan terjadinya denaturasi berlebihan, kehilangan cairan, perubahan warna, dan penurunan sebagian senyawa sensitif panas (Khalid *et al*., 2023).

3.3.2 Prinsip Non Termal

Teknologi nontermal menggunakan tekanan, medan listrik, gelombang ultrasonik, cahaya, plasma, atau mekanisme lain pada suhu relatif rendah. Tujuannya adalah mempertahankan karakter segar sambil meningkatkan keamanan atau fungsi protein. Istilah nontermal tidak berarti tanpa perubahan suhu sama sekali; proses tetap dapat menghasilkan pemanasan lokal atau perubahan struktur. Oleh sebab itu, parameter proses dan dampaknya terhadap warna, oksidasi, tekstur, dan mikrobiologi harus divalidasi (Y. Lee & Yoon, 2024; Li *et al*., 2025)

3.4 Metode Pengolahan Daging

3.4.1 Metode Konvensional: Pendinginan, Pembekuan, Curing, Pengasapan, dan Pengeringan

Pendinginan menurunkan laju pertumbuhan mikroba dan aktivitas enzim tanpa membekukan sebagian besar air. Keberhasilannya dipengaruhi kecepatan

penurunan suhu, sirkulasi udara, kelembapan, ukuran karkas atau potongan, dan stabilitas rantai dingin. Pendinginan yang terlalu lambat memperbesar peluang pertumbuhan mikroba, sedangkan aliran udara terlalu kering dapat meningkatkan susut bobot permukaan(Codex Alimnentarius, 2023)

Pembekuan memperpanjang umur simpan dengan mengubah sebagian air menjadi es dan menurunkan aktivitas air pada fase yang tidak membeku. Proses ini tidak mensterilkan produk. Kecepatan pembekuan memengaruhi ukuran kristal es; kristal besar dapat merusak struktur sel dan meningkatkan drip loss saat thawing. Fluktuasi suhu juga mempercepat rekristalisasi, freezer burn, dan oksidasi. Thawing sebaiknya dilakukan pada kondisi terkendali agar permukaan tidak berada lama pada suhu yang mendukung pertumbuhan mikroba (Khalid *et al*., 2023).

Curing memanfaatkan garam, nitrit atau nitrat sesuai jenis produk, bahan pereduksi, gula, dan bumbu untuk membentuk warna, flavor, stabilitas, dan keamanan tertentu. Nitrit memiliki fungsi penting dalam pembentukan warna cured meat, penghambatan Clostridium botulinum, dan pengendalian oksidasi. Karena penggunaannya dibatasi regulasi dan menjadi perhatian konsumen, formulasi harus presisi serta tidak boleh mengandalkan istilah ‘alami’ sebagai pengganti verifikasi kadar nitrit aktual (Yong *et al*., 2021).

Natural curing menggunakan sumber nitrat atau nitrit dari bahan nabati yang dikonversi melalui kultur atau tersedia sebagai pre-converted nitrite. Secara teknologi, senyawa aktifnya tetap nitrit sehingga prinsip

keamanan dan pengendalian dosis tidak berubah. Keunggulan utamanya adalah peluang penyederhanaan label, sedangkan tantangannya meliputi variasi bahan baku, konsistensi warna, waktu reaksi, dan interpretasi konsumen (Inguglia *et al*., 2023; Yong *et al*., 2021).

Pengasapan menghasilkan senyawa fenolik, karbonil, dan asam organik yang berkontribusi pada aroma, warna, antioksidasi, dan efek antimikroba permukaan. Pengasapan dapat dilakukan secara langsung atau menggunakan asap cair yang terstandardisasi. Kondisi pembakaran, jenis kayu, jarak produk, suhu, dan durasi harus dikendalikan untuk memperoleh flavor yang diinginkan sekaligus menekan pembentukan hidrokarbon aromatik polisiklik (Khalid *et al*., 2023).

Pengeringan menurunkan kadar air dan a_v sehingga digunakan pada dendeng, jerky, abon, dan produk fermentasi kering. Kecepatan pengeringan harus seimbang: pengeringan permukaan yang terlalu cepat dapat membentuk case hardening sehingga air dari bagian dalam sulit keluar, sedangkan pengeringan terlalu lambat meningkatkan risiko pertumbuhan mikroba. Setelah proses, produk perlu dilindungi dari penyerapan kembali kelembapan dan kontaminasi ulang melalui kemasan yang sesuai (Y. Lee & Yoon, 2024).

Tabel 3. 1 Teknologi Konvensional dan Titik Perhatian Praktis

Metode	Tujuan Utama	Titik Perhatian Praktis
Pendinginan	Memperlambat mikroba dan reaksi enzimatik	Kecepatan chilling, fluktuasi suhu, susut bobot, kondensasi.
Pembekuan	Penyimpanan jangka panjang	Ukuran kristal es, freezer burn, drip loss, oksidasi, thawing.
Curing	Warna, flavor, stabilitas, dan keamanan	Kadar nitrit, distribusi bahan, waktu curing, regulasi, dokumentasi formula.
Pengasapan	Aroma, warna, dan efek antimikroba permukaan	Suhu, sumber asap, deposisi, keseragaman, risiko PAH.
Pengeringan	Menurunkan kadar air dan a_v	Case hardening, keseragaman, aw akhir, kontaminasi ulang, kemasan.

3.4.2 Metode Formulasi Produk Olahan: Emulsi, Restrukturisasi, dan Marinasi

a. Emulsifikasi

Produk emulsi atau batter seperti sosis emulsi,

bakso, pâté, dan luncheon meat merupakan sistem campuran protein larut garam, air, lemak, bumbu, dan bahan fungsional. Selama chopping, protein miofibril diekstraksi dan membentuk lapisan di sekitar globula lemak. Saat dipanaskan, protein membentuk matriks gel yang menahan air dan lemak. Emulsi yang stabil menghasilkan tekstur homogen dan rendemen tinggi; emulsi yang rusak menampilkan kantong lemak, jelly pocket, permukaan berminyak, atau struktur rapuh (Bao *et al*., 2025).

Suhu chopping merupakan kendali penting. Gesekan meningkatkan suhu dan dapat melunakkan lemak atau mendenaturasi protein sebelum sistem terbentuk. Es atau air dingin digunakan untuk menekan kenaikan suhu dan menyediakan fase air. Urutan umum adalah ekstraksi protein daging dengan garam, penambahan air/es dan bahan fungsional, kemudian lemak secara bertahap. Urutan perlu disesuaikan dengan peralatan, komposisi, dan karakter bahan (Bao *et al*., 2025).

Hidrokoloid seperti karagenan, alginat, pati, konjak, atau serat dapat meningkatkan retensi air, tekstur, stabilitas, dan rendemen. Bahan tersebut bukan pengganti pengendalian proses; dosis yang berlebihan dapat menghasilkan tekstur terlalu keras, gummy, atau rasa tidak alami. Pemilihan harus mempertimbangkan pH, konsentrasi garam, suhu gelasi, interaksi protein, dan persyaratan label (Bao *et al*., 2025; Inguglia *et al*., 2023).

b. Restrukturisasi

Restrukturisasi menyatukan potongan kecil atau

partikel daging menjadi produk yang memiliki bentuk dan tekstur terkontrol, misalnya nugget, meatball, kebab, patty, dan steak restrukturisasi. Ikatan dapat dibentuk melalui ekstraksi protein larut garam, pemanasan, hidrokoloid, protein non-daging, atau enzim transglutaminase. Sasaran utamanya adalah kohesi, juiciness, ketahanan saat dimasak, dan konsistensi porsi (Ren *et al*., 2024; Samad *et al*., 2024) .

Pada nugget, tahap forming diikuti predusting, battering, breading, dan sering kali pre-frying. Lapisan luar melindungi inti, membentuk kerenyahan, dan meningkatkan daya tarik visual. Akan tetapi, viskositas batter, pickup breading, suhu minyak, waktu penggorengan, dan kualitas minyak harus dikendalikan. Minyak yang teroksidasi atau digunakan berlebihan dapat menurunkan flavor dan stabilitas penyimpanan (Samad *et al*., 2024).

c. Marinasi

Marinasi digunakan untuk meningkatkan rasa, keempukan, daya ikat air, warna, dan rendemen. Larutan dapat mengandung garam, gula, fosfat sesuai regulasi, asam organik, enzim protease, rempah, minyak, dan flavor. Metode penerapannya meliputi perendaman, tumbling, vacuum tumbling, dan injection. Kecepatan penetrasi dipengaruhi ukuran potongan, komposisi larutan, waktu, suhu, tekanan, dan energi mekanis (Ge *et al*., 2022).

Vacuum tumbling mempercepat distribusi larutan melalui aksi mekanis dan perubahan tekanan, sekaligus membantu ekstraksi protein permukaan. Proses yang

terlalu kuat dapat merusak struktur atau menghasilkan tekstur lembek. Ultrasound juga diteliti sebagai bantuan marinasi karena kavitasi dapat mempercepat transfer massa dan memodifikasi struktur protein, tetapi intensitas tinggi berpotensi meningkatkan oksidasi atau menghasilkan perubahan tekstur yang tidak diinginkan (Ge *et al*., 2022; Li *et al*., 2025).

3.4.3 Metode Pengolahan Termal: Blanching, Pasteurisasi, Sterilisasi, Sous-vide, dan Pemanasan Ohmik

Pemanasan menyebabkan denaturasi protein, pembentukan gel, perubahan mioglobin, penyusutan serat, pelunakan kolagen, inaktivasi mikroba, serta pembentukan flavor melalui reaksi Maillard dan degradasi lipid. Dampak akhirnya ditentukan oleh kombinasi suhu–waktu, kadar air, ukuran produk, komposisi, dan metode pemanasan. Tujuan desain proses adalah mencapai letalitas yang dipersyaratkan tanpa menghasilkan produk terlalu kering, keras, atau kehilangan mutu secara berlebihan (Khalid *et al*., 2023).

Blanching merupakan pemanasan singkat yang dapat digunakan untuk pra-perlakuan, mengurangi beban mikroba permukaan, atau menyiapkan bahan sebelum proses lanjutan. Pasteurisasi menurunkan mikroorganisme vegetatif dan biasanya memerlukan penyimpanan dingin setelah proses. Sterilisasi komersial menggunakan proses lebih intensif untuk menghasilkan produk stabil pada suhu ruang, seperti produk retort. Peningkatan intensitas proses harus diimbangi dengan optimasi ukuran kemasan, perpindahan panas, dan

kualitas sensori (Khalid *et al*., 2023).

Sous-vide adalah pemasakan dalam kemasan vakum atau beroksigen rendah pada suhu terkontrol dan waktu relatif panjang. Teknik ini dapat menghasilkan tekstur konsisten, menekan kehilangan cairan, dan mempertahankan aroma. Namun, suhu yang lebih rendah dari pemasakan konvensional menuntut validasi hubungan suhu–waktu, pendinginan cepat, penyimpanan dingin, dan pengendalian umur simpan. Kemasan vakum bukan pengganti proses letal (Misu *et al*., 2024).

Pemanasan ohmik menghasilkan panas secara internal ketika arus listrik melewati bahan yang memiliki resistansi. Keuntungannya adalah pemanasan cepat dan berpotensi lebih seragam dibandingkan perpindahan panas dari permukaan. Pada produk daging, penerapan dapat mencakup cooking, tempering, thawing, atau pasteurisasi. Tantangan utamanya meliputi variasi konduktivitas listrik, kontak elektroda, komposisi heterogen, gelembung udara, dan kebutuhan desain sistem yang tepat (Sain *et al*., 2024).

Tabel 3. 2 Perbandingan Beberapa Teknologi Termal

Teknologi	Kelebihan	Keterbatasan/ titik kendali
Pemasakan konvensional	Mudah diterapkan dan investasi relatif rendah	Gradien panas, kehilangan cairan, dan overcooking pada permukaan.
Pasteurisasi	Menurunkan mikroba vegetatif dan sesuai produk dingin	Memerlukan validasi suhu–waktu dan rantai dingin setelah proses.
Retort/sterilisasi	Umur simpan panjang pada suhu ruang	Risiko overprocessing, perubahan warna, flavor, dan tekstur.
Sous-vide	Suhu presisi, tekstur dan rendemen konsisten	Validasi ketat, pendinginan cepat, kemasan dan rantai dingin.

Teknologi	Kelebihan	Keterbatasan/ titik kendali
Pemanasan ohmik	Pemanasan volumetrik cepat	Investasi, desain elektroda, konduktivitas bahan, keseragaman medan.

3.4.4 Metode Pengolahan Non Termal: HPP, Plasma Dingin, PEF, dan Ultrasound

a. High Pressure Processing (HPP)

HPP menggunakan tekanan hidrostatik tinggi yang ditransmisikan secara seragam melalui medium cair. Teknologi ini efektif terhadap banyak sel vegetatif mikroba dan dapat diterapkan setelah produk dikemas, sehingga mengurangi risiko rekontaminasi. HPP banyak dipertimbangkan untuk produk ready-to-eat, irisan daging matang, dan produk berlabel bersih. Efektivitas dipengaruhi tekanan, waktu, suhu, pH, kadar garam, lemak, dan jenis mikroorganisme (Y. Lee & Yoon, 2024).

Tekanan juga dapat mengubah struktur protein, warna, daya ikat air, dan tekstur. Pada daging mentah, perubahan warna dapat terlihat jelas, sedangkan pada produk matang dampaknya sering lebih dapat diterima. Spora bakteri lebih tahan sehingga HPP tidak otomatis menggantikan sterilisasi. Produk perlu diuji pada kondisi formula dan kemasan aktual sebelum teknologi diterapkan secara komersial (Li *et al*., 2025).

b. Plasma Dingin

Plasma dingin menghasilkan spesies reaktif oksigen dan nitrogen, partikel bermuatan, serta radiasi pada suhu relatif rendah. Perlakuan terutama bekerja pada permukaan sehingga relevan untuk dekontaminasi potongan, kemasan, atau permukaan peralatan. Kinerja dipengaruhi jenis gas, tegangan, jarak, waktu, kelembapan, dan topografi permukaan. Karena spesies reaktif juga dapat mengoksidasi lipid, protein, dan pigmen, optimasi harus menyeimbangkan penurunan mikroba dengan mutu produk (Y. Lee & Yoon, 2024; Li *et al*., 2025).

c. Pulsed Electric Field (PEF)

PEF menggunakan pulsa medan listrik untuk meningkatkan permeabilitas membran sel melalui elektroporasi. Pada sistem cair, mekanisme ini efektif untuk inaktivasi mikroba; pada daging, PEF juga diteliti untuk tenderisasi, peningkatan difusi marinasi, dan perubahan struktur protein. Keseragaman medan, jarak elektroda, konduktivitas, jumlah pulsa, dan kenaikan suhu perlu dikendalikan (Y. Lee & Yoon, 2024; Li *et al*., 2025).

d. Ultrasound

Ultrasound berintensitas tinggi menghasilkan kavitasi, mikroaliran, dan gaya geser yang dapat mempercepat transfer massa, membantu marinasi, memodifikasi protein, dan meningkatkan ekstraksi. Aplikasinya relatif fleksibel, tetapi hasil sangat bergantung pada frekuensi, intensitas, waktu, suhu, dan

posisi transduser. Perlakuan yang berlebihan dapat meningkatkan oksidasi, menurunkan warna, atau merusak struktur (Li *et al*., 2025).

Tabel 3. 3 Perbandingan Teknologi Non Termal

Teknologi	Mekanisme dominan	Aplikasi potensial	Perhatian utama
HPP	Tekanan hidrostatik tinggi	Produk RTE, pascakemas, perpanjangan umur simpan	Warna/tekstur, ketahanan spora, biaya investasi.
Plasma dingin	Spesies reaktif dan partikel bermuatan	Dekontaminasi permukaan dan kemasan	Oksidasi, penetrasi terbatas, optimasi gas dan waktu.
PEF	Elektroporasi akibat pulsa listrik	Tenderisasi, marinasi, sistem cair, modifikasi protein	Keseragaman medan, konduktivitas, kenaikan suhu.
Ultrasound	Kavitasi dan mikroaliran	Marinasi, ekstraksi, tenderisasi, modifikasi gel	Oksidasi, perubahan tekstur, distribusi energi.

3.5 Produk Olahan Daging

Produk daging dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat pengecilan ukuran, metode pengawetan, proses pemanasan, dan struktur akhir. Kategori dasar meliputi

potongan segar, daging giling, produk restrukturisasi, produk emulsi, produk curing, produk fermentasi, produk kering, dan produk siap santap. Satu produk dapat masuk lebih dari satu kategori; misalnya salami merupakan produk giling, fermentasi, curing, dan pengeringan (Samad *et al*., 2024).

3.5.1 Daging Segar yang Dipotong dan Daging Giling

Potongan segar mempertahankan struktur otot sehingga titik kendali utamanya adalah kualitas karkas, pemotongan higienis, suhu, oksigen dalam kemasan, dan waktu penyimpanan. Daging giling memiliki luas permukaan lebih besar dan mendistribusikan mikroorganisme permukaan ke seluruh massa. Oleh karena itu, penggilingan harus dilakukan pada suhu rendah, peralatan bersih, waktu singkat, dan kemasan yang sesuai (Codex Alimnentarius, 2023).

3.6 Produk Emulsi dan Restrukturisasi

Sosis emulsi, bakso, dan luncheon meat bergantung pada ekstraksi protein, distribusi lemak, pembentukan gel, dan retensi air. Nugget, patty, meatball, dan kebab bergantung pada ukuran partikel, jenis binder, tekanan forming, serta proses coating atau pemasakan. Walaupun istilah nugget kadang disebut produk emulsi, secara teknologi nugget lebih tepat dipahami sebagai produk restrukturisasi berlapis yang dapat menggunakan daging cincang atau emulsi sebagai inti (Ren *et al*., 2024; Samad *et al*., 2024).

3.6.1 Produk Fermentasi dan Cured Products

Produk fermentasi seperti salami menggunakan kultur starter untuk menghasilkan asam dan senyawa flavor, disertai curing dan pengeringan. Penurunan pH, a_v, kompetisi mikroba, suhu, kelembapan, dan waktu pematangan bekerja bersama membentuk keamanan dan karakter produk. Fermentasi harus menggunakan kultur yang sesuai dan proses yang tervalidasi; fermentasi spontan pada produksi komersial meningkatkan variasi dan risiko (Y. Lee & Yoon, 2024).

Ham merupakan contoh cured product yang dapat dibuat dari otot utuh melalui injection, tumbling, curing, pemasakan, pengasapan, atau pengeringan sesuai jenisnya. Keseragaman distribusi larutan curing, retensi air, tekstur irisan, warna, dan suhu inti merupakan parameter penting. Perbedaan antara ham matang, dry-cured ham, dan produk sejenis harus tercermin pada formula, proses, serta persyaratan penyimpanan (Yong *et al*., 2021).

Tabel 3. 4 Kategori Produk dan Parameter Teknologi Dominan

Kategori	Contoh	Parameter dominan
Potongan segar	Steak, fillet, potongan karkas	pH, suhu, warna, drip, higiene, kemasan.
Daging giling	Minced meat, ground beef	Suhu penggilingan, ukuran plate, kontaminasi, oksidasi.
Emulsi	Sosis emulsi, bakso, luncheon meat	Ekstraksi protein, suhu chopping, rasio air–lemak, gel.
Restrukturisasi	Nugget, patty, meatball, kebab	Ukuran partikel, binder, forming, coating, cooking yield.
Curing	Ham, corned meat	Garam/nitrit, distribusi brine, waktu, warna, regulasi.
Fermentasi /kering	Salami, sosis fermentasi, dendeng	Kultur, pH, aw, RH, suhu, waktu, keamanan.
Siap santap	Irisan matang, sous-vide, retort	Proses letal, rekontaminasi, kemasan, rantai dingin.

3.7 Inovasi Produk Olahan Daging Modern

3.7.1 Clean Label

Clean label mengacu pada kecenderungan konsumen memilih komposisi yang lebih singkat, mudah dikenali, dan dipersepsikan alami. Dalam industri daging, strategi ini mencakup penggantian antioksidan sintetis dengan ekstrak tumbuhan, natural curing, penggunaan kultur, pengurangan fosfat, dan pemanfaatan bahan multifungsi. Tantangan utamanya adalah mempertahankan keamanan, warna, tekstur, flavor, dan umur simpan tanpa menyesatkan konsumen (Inguglia *et al*., 2023).

Istilah clean label bukan kategori keamanan atau jaminan bahwa produk lebih sehat. Bahan 'alami' tetap memiliki variasi komposisi, dapat menimbulkan flavor kuat, dan harus dinilai efektivitas serta keamanannya. Formulasi perlu didukung uji tantang mikroba, uji stabilitas, analisis sensori, dan pelabelan yang transparan (Inguglia *et al*., 2023).

3.7.2 Reduced Sodium

Pengurangan natrium penting karena produk daging olahan sering menggunakan garam untuk flavor, ekstraksi protein, daya ikat air, dan pengendalian mikroba. Pengurangan langsung dapat menurunkan rasa, tekstur, rendemen, dan stabilitas. Strategi yang digunakan meliputi substitusi sebagian NaCl dengan KCl, pengaturan ukuran kristal, penggunaan enhancer rasa umami, rempah, fosfat sesuai regulasi, atau teknologi yang meningkatkan persepsi asin (Aprilia & Kim, 2022).

Substitusi perlu dilakukan bertahap karena KCl dapat menghasilkan rasa pahit atau metalik pada konsentrasi tinggi. Target natrium harus dievaluasi bersama keamanan, bukan hanya hasil sensori. Produk dengan garam lebih rendah mungkin memerlukan kombinasi hambatan lain, seperti pendinginan lebih ketat, proses termal yang tervalidasi, atau kemasan yang lebih protektif (Aprilia & Kim, 2022; S. Lee *et al*., 2023).

3.7.3 Produk Hibrida Daging–Tanaman

Produk hibrida menggabungkan daging dengan bahan nabati seperti sayuran, jamur, kacang-kacangan, tepung, konsentrat protein, isolat, atau protein tekstur. Pendekatan ini dapat menambah serat, menurunkan proporsi daging, dan mempertahankan pengalaman sensori yang lebih dekat dengan produk daging dibandingkan analog nabati penuh. Produk yang umum dikembangkan adalah burger, sosis, meatball, nugget, dan mince (Song *et al*., 2025).

Tantangan teknologinya meliputi kompatibilitas protein, warna, off-flavor, tekstur lebih lunak, retensi air, kestabilan mikrobiologis, dan alergen. Proporsi bahan nabati yang terlalu tinggi dapat mengganggu jaringan protein daging. Oleh karena itu, jenis bahan, ukuran partikel, tingkat hidrasi, urutan pencampuran, dan proses teksturisasi harus dioptimalkan. Informasi label juga harus jelas agar konsumen memahami komposisi produk (Song *et al*., 2025).

3.7.4 *Cultured Meat* dan *Scaffold* 3D/*Bioprinting*

Cultured meat atau daging kultur diproduksi

melalui proliferasi dan diferensiasi sel hewan dalam lingkungan terkontrol, kemudian sel disusun menjadi jaringan yang dapat dimakan. Tahap utamanya mencakup seleksi sel, media kultur, ekspansi, diferensiasi, pembentukan jaringan, dan pemanenan. Produk sederhana seperti daging cincang relatif lebih mudah dikembangkan dibandingkan steak tebal yang memerlukan organisasi serat, lemak, jaringan ikat, dan saluran transport nutrien (Alam *et al*., 2024).

Scaffold berfungsi sebagai kerangka tempat sel melekat, tumbuh, dan membentuk struktur tiga dimensi. Bahan scaffold harus biokompatibel, aman dimakan, memiliki porositas dan kekuatan yang sesuai, serta mendukung transfer oksigen dan nutrien. Teknologi 3D bioprinting memungkinkan deposisi sel dan biomaterial secara terarah untuk mendekati susunan jaringan, tetapi masih menghadapi tantangan biaya, skala, kecepatan proses, media kultur, vaskularisasi, regulasi, dan penerimaan konsumen (Alam *et al*., 2024).

Daging kultur belum dapat diperlakukan sekadar sebagai pengganti langsung seluruh sistem peternakan. Penilaian harus mencakup kebutuhan energi, sumber media, skala bioreaktor, keamanan biologis, kualitas nutrisi, dan perilaku konsumen. Dalam konteks teknologi hasil ternak, bidang ini penting dipahami sebagai pengembangan sistem produksi protein baru yang tetap memerlukan prinsip rekayasa proses, higiene, standardisasi, dan evaluasi mutu (Alam *et al*., 2024).

DAFTAR PUSTAKA

Aprilia, G. H. S., & Kim, H. S. (2022). Development of Strategies to Manufacture Low Salt Meat Products. A review. In *Journal of Animal Science and Technology* (Vol. 64, Number 2, pp. 218–234). Korean Society of Animal Sciences and Technology. https://doi.org/10.5187/jast. 2022.e16

Bao, H., Wang, Y., Huang, Y., Zhang, Y., & Dai, H. (2025). The Beneficial Role of Polysaccharide Hydrocolloids in Meat Products: A Review. In *Gels* (Vol. 11, Number 1). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI). https://doi.org/10.3390/gels11010055

Codex Alimnentarius. (2023). *General Principles of Food Hygiene*. https://doi.org/10.4060/cc6125en

Ge, Q., Guo, S., Chen, S., Wu, Y., Jia, Z., Kang, Z., Xiong, G., Yu, H., Wu, M., & Liu, R. (2022). A comparative Study of Vacuum Tumbling and Immersion Marination on Quality, Microstructure, and Protein Changes of Xueshan Chicken. *Frontiers in Nutrition*, *9*. https://doi.org/ 10.3389/fnut.2022.1064521

Inguglia, E. S., Song, Z., Kerry, J. P., O'Sullivan, M. G., & Hamill, R. M. (2023). Addressing Clean Label Trends in Commercial Meat Processing: Strategies, Challenges and Insights from Consumer Perspectives. In *Foods* (Vol. 12, Number 10). MDPI. https://doi.org/10.3390/ foods12102062

Khalid, W., Maggiolino, A., Kour, J., Arshad, M. S., Aslam, N., Afzal, M. F., Meghwar, P., Zafar, K. U. W., De Palo, P., & 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. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1057457

Lee, S., Jo, K., Jeong, S. K. C., Jeon, H., Choi, Y. S., & Jung, S. (2023). Recent Strategies For Improving The Quality of Meat Products. *Journal of Animal Science and Technology*. https://doi.org/10.5187/jast.2023.e94

Lee, Y., & Yoon, Y. (2024). Principles and Applications of Non Thermal Technologies for Meat Decontamination. In *Food Science of Animal Resources* (Vol. 44, Number 1, pp. 19–38). Korean Society for Food Science of Animal Resources. https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e72

Li, H., Li, C., Shoaib, M., Zhang, W., & Murugesan, A. (2025). Advances in Non-Thermal Processing of Meat and Monitoring Meat Protein Gels Through Vibrational Spectroscopy. In *Foods* (Vol. 14, Number 11). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI). https://doi.org/10.3390/foods14111929

Lyu, Y., Wu, F., Wang, Q., Liu, G., Zhang, Y., Jiang, H., & Zhou, M. (2025). A review of Robotic and Automated Systems in Meat Processing. In *Frontiers in Robotics and AI* (Vol. 12). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/ frobt.2025.1578318

Misu, G. A., Canja, C. M., Lupu, M., & Matei, F. (2024). Advances and Drawbacks of Sous-Vide Technique A Critical Review. In *Foods* (Vol. 13, Number 14). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI). https:/ /doi.org/10.3390/foods13142217

Nurul Alam, A. M. M., Kim, C. J., Kim, S. H., Kumari, S., Lee, E. Y., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2024). Scaffolding Fundamentals and Recent Advances in Sustainable Scaffolding Techniques for Cultured Meat Development. In *Food Research International* (Vol.189).ElsevierLtd. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114549

Ren, Z., Li, Z., Hu, Z., Xia, W., Zhou, M., Pan, Z., Li, J., & Zhen, Z. (2024). Recent Insights Into Bonding Technologies in Restructured Meat Production: A review. In *Food Chemistry: X* (Vol.23). Elsevier Ltd. https://doi.org/10. 1016/j.fochx.2024.101712

Samad, A., Alam, A. M. M. N., Kumari, S., Hossain, M. J., Lee, E. Y., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2024). Modern Concepts of Restructured Meat Production and Market Opportunities. In *Food Science of Animal Resources* (Vol. 44, Number 2, pp. 284–298). Korean Society for Food Science of Animal Resources. https://doi.org/10.5851/ KOSFA.2024.E18

Song, Z., Hamill, R. M., & Kerry, J. (2025). Hybrid Plant Meat Products Addressing the Sustainability Debate Around Processed Meat Consumption: A Review. *Sustainable Food Technology*. https://doi.org/10.1039/d5fb007 23b

Yong, H. I., Kim, T. K., Choi, H. D., Jang, H. W., Jung, S., & Choi, Y. S. (2021). Clean Label Meat Technology: Pre Converted Nitrite as a Natural Curing. In *Food Science of Animal Resources* (Vol. 41, Number 2, pp. 173–184). Korean Society for Food Science of Animal Resources. https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e96

BAB 4
TEKNOLOGI PENGOLAHAN SUSU DAN PRODUK OLAHANNYA

4.1 Kualitas Susu

Susu didefinisikan sebagai produk pangan bergizi tinggi yang berasal dari sekresi kelenjar mamalia, seperti sapi, kerbau, kuda, domba, dan unta, yang diperoleh melalui proses pemerahan. Variabilitas komposisi susu sapi dipengaruhi oleh serangkaian faktor, termasuk ras sapi, fase laktasi, rezim pemberian pakan, frekuensi pemerahan, suhu lingkungan, dan usia hewan. Elemen nutrisi esensial yang terkandung dalam susu meliputi protein, lipid, vitamin, mineral, dan laktosa. Selain komponen utama ini, susu juga mengandung beragam enzim serta mikroorganisme yang berfungsi sebagai agen probiotik, berkontribusi positif terhadap kesehatan. Susunan nutrisi rata-rata susu sapi perah terdetilkan mencakup 87,1% air, 3,9% lemak, 3,4% protein, 4,8% laktosa, 0,72% abu mineral, serta vitamin larut lemak seperti A, D, E, dan K.

Karena susu merupakan media yang ideal untuk pertumbuhan mikroba, susu harus memenuhi standar kesehatan dan kebersihan. Jika tidak dirawat dengan benar, susu dapat cepat rusak, menyebabkan masa simpannya menjadi pendek. Untuk mengatasi kelebihan produksi susu, yang paling efektif adalah mengawetkan susu dengan beberapa teknik pengolahan, bahkan jika susu itu segar dan berasal dari sumber alami. Susu dapat cepat rusak jika tidak ditangani dengan benar, sehingga

masa simpannya menjadi lebih pendek. Untuk mengatasi produksi susu yang berlebihan, cara yang paling efektif adalah mempertahankan susu dengan memperpanjang masa penyimpanannya melalui berbagai metode pengolahan. Susu yang segar dan berasal dari sapi yang sehat tidak selalu aman untuk dikonsumsi. Bakteri berbahaya dapat masuk ke susu melalui lingkungan, alat perah, atau bahkan dari sapi itu sendiri.

Namun demikian, konsumsi produk susu yang telah menjalani perlakuan panas seperti pasteurisasi, sterilisasi, atau pemanasan suhu tinggi secara umum dianggap aman. Patogen atau mikroorganisme kontaminan dalam susu dapat berkembang biak secara optimal dalam kondisi lingkungan yang kondusif, meliputi suasana anaerobik, fluktuasi suhu dan kelembapan yang ekstrem, serta konsentrasi laktosa yang substansial. Manifestasi kerusakan pada produk susu yang diakibatkan oleh aktivitas mikrobial mencakup, namun tidak terbatas pada, aspek-aspek berikut: 1. Produksi asam dan koagulasi susu, yang merupakan konsekuensi dari proses fermentasi laktat. Mikroorganisme kontaminan tumbuh subur dalam medium anaerobik, dengan suhu dan kelembapan yang meningkat, serta kandungan laktosa yang tinggi. Kerusakan susu akibat aktivitas mikroba dapat diidentifikasi melalui beberapa indikator: 1. Koagulasi dan pengasaman susu yang disebabkan oleh fermentasi laktosa, menghasilkan asam laktat yang menurunkan pH dan menginduksi pengendapan kasein; 2. Fenomena pembentukan lendir menyerupai benang, yang terjadi sebagai akibat dari sekresi polisakarida ekstraseluler, seperti kapsul dan

slime, oleh spesies bakteri perusak tertentu, yang mengarah pada peningkatan viskositas dan pembentukan struktur filamen; 3. Koagulasi laktat yang tidak disertai penurunan pH, disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme seperti Bacillus cereus, yang menginduksi pelepasan enzim protease. Enzim ini berfungsi dalam mendegradasi lapisan tipis fosfolipid yang mengelilingi agregat protein dalam susu. Struktur lapis pelindung ini kemudian mengalami fusi, menghasilkan pembentukan massa koagulat yang terakumulasi pada fase permukaan cairan laktat.

Koagulasi merupakan atribut fundamental susu yang dipicu oleh interaksi enzimatik atau penambahan senyawa asam. Properti fisiko-kimia yang melekat pada susu mencakup spektrum warna yang bervariasi dari putih kebiruan hingga nuansa coklat kekuningan, densitas yang berada dalam interval 1,0260 hingga 1,0320 ketika diukur pada suhu 20 derajat Celsius, serta tingkat keasaman (pH) susu segar yang umumnya berkisar antara 6,6 hingga 6,7. Selain itu, susu menunjukkan profil rasa yang khas dengan kehadiran laktosa yang memberikan sensasi manis dan menyenangkan. Sektor industri pengolahan susu bertanggung jawab atas produksi beragam turunan produk berbasis susu, yang meliputi, namun tidak terbatas pada, susu skim, susu yang telah mengalami proses homogenisasi, krim, mentega, susu kental manis, susu dalam bentuk bubuk, yoghurt, minuman kefir, susu yang telah melalui proses pasteurisasi atau sterilisasi, keju, es krim, produk kembang gula atau karamel, dodol susu, tahu susu, dan biskuit susu. Sektor industri pengolahan susu umum

memanfaatkan susu mentah sebagai bahan dasar untuk mensintesis beragam produk turunan susu. Rangkaian produk ini mencakup, namun tidak terbatas pada, susu skim, produk homogenisasi, krim, mentega, susu kental manis, susu bubuk, yoghurt, kefir crack*ers*, susu yang telah menjalani pasteurisasi maupun sterilisasi, keju, es krim, karamel atau produk permen, dodol susu, tahu susu, dan crack*ers* susu. Susu mentah memiliki kapabilitas inheren untuk bertransformasi menjadi komoditas yang diminati pasar dan memiliki masa simpan yang relatif panjang.

4.2 Sifat Susu

Susu yang warnanya putih jika dilihat dengan alat pembesar, akan tampak butiran-butiran lemak yang ukurannya tidak seragam. Butiran –butiran tersebut mengapung dalam cairan yang disebut plasma susu. Plasma susu mengandung butiran protein yang disebut kasein. Serum susu merupakan bagian cairan dari susu penuh yang telah diambil butiran lemak dan protein kasein. Butiran lemak dilindungi oleh lapisan pelindung atau membran lemak susu yang terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar yang mengandung enzim kelenjar susu dan bagian dalam terdiri atas gabungan antara fosfolipida dan protein. Susu mengandung substansi esensial untuk manusia, seperti protein, karbohidrat, lemak, air, semua vitamin B, vitamin A, kalsium,dan fosfor. Susu juga mengandung protein kualitas tinggi yng berarti sejumlah besar protein dapat digunakan secara efisien oleh tubuh untuk membentuk protein tubuh. Lemak susu merupakan

kompleks lipida secara mikroskopis merupakan emulsi minyak dalam air. Sebagian besar lipida susu terdiri dari trigliserida atau ester asam lemak yang bergabung dengan gliserol sebanyak 97-98 persen. Fosfolipida, yang berukuran 0,2–1%, dan sterol bebas, yang berukuran 0,2–4%, adalah bagian lipida susu yang sangat kecil. Kira-kira 62% lemak susu terdiri dari lemak jenuh, 30% terdiri dari lemak jenuh tunggal (juga dikenal sebagai asam oleat), 4% lemak tidak jenuh ganda, dan 4% tipe asam lemak yang sangat kecil. Tubuh dapat menggunakan lemak susu sebagai energi atau menyimpannya sebagai stok lemak karena sangat mudah dicerna. Susu terdiri dari abu, air, laktosa, lemak, protein, vitamin, dan mineral.

4.3 Produk Olahan Susu

Susu merupakan komponen yang sering digunakan dalam berbagai makanan untuk manusia. Pemrosesan susu di tingkat rumah tangga dapat memberikan keuntungan yang signifikan untuk bisnis peternakan sapi perah masyarakat. Berikut adalah beberapa jenis pengolahan susu yang akan dijelaskan.



Gambar 4. 1 Produk Olahan Susu

https://www.kompas.com/ (16 Februari 2021)

A. Susu Fermentasi

Proses fermentasi susu mengubah laktosa menjadi asam laktat, yang dapat diserap oleh sistem pencernaan. Dengan demikian, susu yang difermentasi dapat diberikan kepada orang yang memiliki alergi terhadap susu untuk mendapatkan manfaat gizi dari susu. Minuman susu fermentasi lebih disukai daripada susu segar. Rasa asam yang lembut dan menyegarkan dari susu fermentasi bertahan lebih lama.



Gambar 4. 2 Susu Fermentasi
https://bbppkupang.bppsdmp.pertanian.go.id/ (11 Desember 2020)

a. Manfaat Susu Fermentasi

Susu yang telah difermentasi memiliki banyak manfaat, salah satunya adalah mengurangi intoleransi terhadap laktosa, yang dapat menyebabkan masalah

pencernaan seperti diare, kembung, dan kram perut setelah mengonsumsi produk tertentu. Ini terjadi karena kadar laktosa yang sangat rendah dalam susu, sehingga bakteri di usus halus tidak dapat fermentasi sisa laktosa. Salah satu manfaat utama susu yang difermentasi adalah membantu menjaga kesehatan sistem pencernaan. Ini disebabkan oleh kadar laktosa yang sangat rendah dalam susu. Akibatnya, bakteri di usus halus tidak dapat memproses sisa laktosa. Manfaat utama susu difermentasi adalah membantu menjaga kesehatan sistem pencernaan. Bakteri komensal yang berhabitat di dalam intestinum tenue memelihara ekuilibrium mikrobiota intestinal, yang berkontribusi pada pembentukan sistem digestif yang optimal. Susu yang mengalami fermentasi juga berpotensi memfasilitasi absorpsi nutrien dan mengelola gangguan gastrointestinal, meliputi:

b. Komposisi Susu dan Proses Fermentasi

Susu terdiri dari air dan lemak serta protein, laktosa, dan berbagai zat terlarut lainnya. Protein berfungsi sebagai pengemulsi, membantu mencampur lemak dan air secara merata, membuat susu menjadi emulsi yang kokoh sehingga lemak dan air tidak mudah terpisah.

Bakteri dari genus Lactobacillus dan Streptococcus berperan krusial dalam proses fermentasi susu. Mikroorganisme ini mengasimilasi laktosa yang terkandung dalam susu, mengkonversinya menjadi asam laktat. Transformasi biokimia ini meningkatkan keasaman produk akhir, sebuah karakteristik fundamental yang

membedakan produk susu terfermentasi seperti yoghurt dan kefir.

4.3.1 Yoghurt

Yoghurt, yang dibuat menggunakan bakteri asam laktat untuk fermentasi susu, memiliki rasa yang unik, tekstur yang setengah padat dan lembut, dan rasa asam yang menyegarkan. Istilah Turki "yoghurt" merujuk pada susu fermentasi asam. Yoghurt dianggap bergizi karena mengandung probiotik, bakteri hidup. Fermentasi adalah proses yang digunakan untuk membuat yoghurt.

Yogurt berkontribusi dalam pencegahan diare dan gastroenteritis, didasarkan pada kemampuan ekstrak metanol asetat dari kultur *S. thermophilus* untuk mengeliminasi bakteri patogen seperti *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas* spp., yang merupakan agen penyebab berbagai penyakit pada manusia. Berdasarkan fakta bahwa laktosa dalam susu konvensional dapat menghambat diare, produk yogurt menjadi suplemen nutrisi yang sangat bermanfaat bagi individu yang mengalami intoleransi laktosa. Mekanisme protektif ini dikaitkan dengan aktivitas ekstrak metanol asetat dari kultur *S. thermophilus* dalam menetralkan patogen bakteri—termasuk *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas* spp.—yang bertanggung jawab atas prevalensi berbagai kondisi patologis pada populasi manusia. Yoghurt sangat bermanfaat bagi mereka yang tidak bisa makan susu karena laktosa dalam susu biasa mencegah diare. Karena bakteri ini menguraikan laktosa dalam susu selama proses fermentasi, yoghurt sangat baik untuk orang yang

memiliki intoleran terhadap susu, yang biasanya disertai dengan diare. Jika dikonsumsi secara teratur, yoghurt dapat menurunkan kadar kolesterol dalam darah berkat kehadiran bakteri lactobacillus. Bakteri ini mengurangi kolesterol dalam darah dari makanan tertentu, seperti daging dan jeroan. Yoghurt juga meningkatkan kekebalan tubuh karena kaya akan bakteri baik yang membantu menyeimbangkan bakteri jahat dalam susu.



Gambar 4. 3 Yoghurt
https://www.halodoc.com/ (04 Agustus 2022)

a. Cara Pembuatan Yoghurt

Bahan bahan yang digunakan adalah, 1000 ml susu segar, 150 ml krim susu, essense, bibit yoghurt. Alat yang digunakan adalah, Panci ukuran 40 cm, sendok pengaduk, serta stoples kaca.

Untuk membuatnya, campurkan susu dengan air bersih, kemudian masukkan susu krim. Masak dengan api kecil selama tiga puluh menit, terus diaduk tetapi jangan mendidih agar air tidak menguap, sehingga gumpalan atau padatan yogurt terbentuk.

Dengan hati-hati ambil gumpalan yogurt, kemudian biarkan hingga hangat suam-suam kuku. Kemudian, tambahkan 2 hingga 5% bibit yogurt tanpa rasa, gula, atau aroma, dan diamkan campuran selama satu hari dalam wadah tertutup agar tetap kental dan memiliki rasa asam. Semakin banyak gumpalan yang terbentuk, semakin sedikit cairan bening yang tersisa. Gunakan bibit yogurt tanpa rasa, gula, dan aroma. Kemudian diamkan campuran ini Untuk mendapatkan rasa yang kental dan asam, simpan dalam wadah tertutup selama satu hari. Gumpalan yang terbentuk menurunkan jumlah cairan bening yang tersisa, sehingga yogurt yang dihasilkan menjadi lebih baik dan dapat digunakan sebagai bibit yogurt untuk pembuatan selanjutnya. Untuk mengurangi rasa asam dari yogurt, Anda dapat menambahkan perasa seperti leci, stroberi, atau jeruk dan sirup atau gula.

Yoghurt dapat disajikan sebagai minuman dan juga sebagai saus untuk salad dan juga untuk campuran es buah. Yoghurt yang sudah jadi harus disimpan dalam stoples kaca yang rapat tertutup selama satu minggu.



Gambar 4. 4 Yoghurt

srnutrition.co.uk (01 Maret 2023)

4.3.2. Kefir

Kefir merupakan produk susu dan fermentasi yang pertama sekali ditemukan oleh suku nomaden yang hidup didaerah dingin di Caucasia. Kefir adalah metode yang sederhana dan ekonomis untuk mengawetkan susu, menjadi produk susu dengan rasa asam. Susu kefir memiliki manfaat sebagai minuman yang berfungsi untuk menghambat pertumbuhan bakteri yang bisa menyebabkan masalah pada saluran pencernaan, mencegah infeksi di saluran kemih, mengurangi kemungkinan munculnya kanker atau tumor pada saluran pencernaan dan organ lainnya, mengurangi kadar kolesterol dalam darah, mengurangi risiko penyakit jantung koroner, meningkatkan perkembangan sistem kekebalan, membantu orang dengan intoleransi laktosa dalam mengonsumsi susu, dan memperlancar proses pembuangan.



Gambar 4. 5 Kefir
https://ners.unair.ac.id/(14 Februari 2021)

a. Pengolahan kefir

Adapun bahan bahan yang diperlukan adalah; susu segar dan bibit kefir.

Alat – alat yang diperlukan stoples.

Cara membuat: susu kefir harus dibersihkan dan didinginkan dalam wadah gelas sampai suhu kamar (18–25°C). Untuk setiap liter susu butiran starter kefir, tambahkan 50–60 gram. Biarkan campuran pada suhu kamar selama 24–48 jam untuk menghasilkan kefir yang sempurna. Anda juga dapat meningkatkan kefir yang telah disaring dengan menggunakan blender. Tambahkan lima puluh hingga enam puluh gram starter kefir untuk setiap liter susu butiran. Biarkan campuran pada suhu kamar selama dua puluh empat hingga empat puluh delapan jam untuk menghasilkan penggumpalan yang sempurna. Saring kefir untuk membuat kefir baru. Anda dapat meningkatkan kefir yang telah disaring dengan menyimpannya selama satu hari pada 8 derajat Celcius atau menginkubasi kembali selama dua puluh empat jam pada suhu kamar. Anda tidak boleh menyimpan suhu ini lebih dari satu minggu.



Gambar 4. 6 Kefir
https://cookpad.com/(6 Oktober 2017)

b. Kandungan Nutrisi Susu Kefir

Mengandung 12 gram protein, 15 gram karbohidrat, 2 gram lemak, dan 130 kalori per cawan, atau sekitar 175 mililiter. Selain itu, susu kefir mengandung mineral seperti kalsium, fosfor, kalium, dan magnesium, serta vitamin A, B, dan D. Selain itu, susu kefir memiliki manfaat berikut:

1. Membantu mencegah infeksi
   Selain itu, susu kefir mengandung vitamin A, B, dan D, serta mineral kalsium, fosfor, kalium, dan magnesium. Selain itu, ada 15 gram karbohidrat, 2 gram lemak, dan 130 kalori.
   Manfaat Susu Kefir: Susu kefir mengandung probiotik yang disebut Laktobacillus kefir, yang dapat menghentikan pertumbuhan bakteri penyebab infeksi seperti Salmonella. 2. Menjaga Kesehatan Tulang:

Susu kefir mengandung banyak kalsium, yang menjaga tulang sehat.

Salah satu jenis probiotik yang ditemukan dalam susu kefir disebut Laktobacillus kefir, yang memiliki kemampuan untuk menghentikan pertumbuhan bakteri yang menyebabkan infeksi seperti Salmonella.

2. Menjaga Kesehatan Tulang: Susu kefir mengandung banyak nutrisi, salah satunya adalah kalsium, yang merupakan nutrisi penting untuk kesehatan tulang. Vitamin K dalam susu kefir juga membantu meningkatkan metabolisme kalsium, yang pada gilirannya membantu memperkuat tulang.
3. Mengatasi Masalah Pencernaan: Probiotik dalam susu kefir membantu mengembalikan keseimbangan bakteri baik yang menjaga kesehatan usus. Kandungan antioksidan dan antiradangnya juga dapat membantu pemulihan gangguan saluran pencernaan.
4. Menurunkan Resiko Penyakit Kanker Susu kefir memiliki komponen yang bisa menghentikan perkembangan sel kanker dengan cara merangsang serta memperkuat sistem imun.
5. Aman Untuk Penderita Intoleransi Kandungan laktosa dalam susu kefir adalah lebih rendah berbanding susu biasa, menjadikan susu kefir sesuai untuk mereka yang mengalami intoleransi laktosa.
6. Mengandung Probiotik memiliki peran penting dalam mendukung kesehatan mental serta membantu mengatur berat badan, dan susu kefir menawarkan kualitas yang lebih baik.

4.3.3. Keju

Keju dikategorikan sebagai produk olahan pangan yang timbul dari fenomena koagulasi protein dalam matriks susu. Spektrum luas varietas keju umumnya diekstraksi dari susu bovine, namun demikian, pemanfaatan susu dari spesies mamalia lain untuk tujuan serupa juga lazim ditemui. Selain fraksi kasein, konstituen susu lainnya, meliputi lipid, ion anorganik, dan vitamin liposolubel, juga terintegrasi ke dalam struktur partikulat kasein. Sebaliknya, substansi susu yang memiliki kelarutan dalam fase akuatik akan terpisah ke dalam fase cair residual pasca-koagulasi kasein, yang secara umum diidentifikasi sebagai whey. Lanskap produk keju saat ini menunjukkan diversitas yang substansial dalam hal jenis dan varietas, sebuah fenomena yang dapat diatribusikan pada determinan geografis, spesies sumber susu, protokol manufaktur, serta intervensi yang diaplikasikan selama tahapan afinementasi atau pematangan(Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009; Rahman *et al*., 1992).

Klasifikasi keju yang lazim diterapkan didasarkan pada karakteristik tekstur dan tahapan proses pemeraman atau pematangan(Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009). Berdasarkan aspek teksturnya, keju dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Keju super keras
2. Keju keras
3. Keju semi keras
4. Keju lunak

Berdasarkan klasifikasi kematangannya, keju dapat dikategorikan menjadi:

(a) Keju matang

(b) Keju belum matang

Keju matang selanjutnya dapat dikelompokkan berdasarkan agen pemeramnya:

(a) Pemeraman menggunakan bakteri

(b) Pemeraman menggunakan kapang (Rahman *et al*., 1992).

Contoh karakteristik keju yang disajikan berdasarkan taksonomi ini adalah sebagai berikut:

1. Keju Keras
   Kategori keju ini dicirikan oleh kandungan air berkisar antara 30% hingga 35% dan proses pematangannya melibatkan aktivitas bakteri. Ciri khas ini dapat ditemukan pada varietas seperti "Romano cheese", "Parmesan cheese", dan "Asiago cheese" (Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009).
2. Keju Semi Keras
   Keju dalam kategori ini memiliki kandungan air yang sedikit lebih tinggi, yaitu melebihi 35% hingga mencapai 40%, dan juga mengalami proses pematangan yang difasilitasi oleh bakteri (Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009).

   Klasifikasi lebih lanjut untuk jenis keju ini meliputi:

   a) Dengan tekstur tertutup, contohnya mencakup "Cheddar cheese", "Edam

cheese", "Gouda cheese", "Colby cheese", dan "Provolone cheese".

b) Dengan tekstur terbuka (menampilkan rongga atau lubang pada permukaannya), contohnya termasuk "Swiss cheese", "Emmental cheese", dan "Gruyere cheese" (Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009).

3. Keju Semi-Keras Kategori keju ini memiliki kadar air yang lebih tinggi lagi, yakni melebihi 40% hingga mencapai 45%, dan diklasifikasikan berdasarkan metode pematangannya:
   a) Dengan pematangan menggunakan bakteri, contohnya "Brick cheese", dan
   b) Dengan pematangan menggunakan kapang, contohnya "Roquefort cheese".
4. Keju Lunak
   Cara Pembuatan Keju
   a) Pasteurisasi susu yang akan diolah pada butir 2 adalah dengan memanaskan susu tersebut pada suhu 65 derajat Celcius selama 15 menit (Sutrisno Koswara, 2009; Nurliyani, 2012).
   b) Setelah proses pasteurisasi selesai, dinginkan susu sehingga suhunya menjadi 40 derajat Celsius.
   c) Masukan kalsium khlorida yang sudah dicampurkan pada kepekatan 25% sebanyak 2 ml untuk liter susu yang akan diolah dan larutan rennet sesuai dengan perbandingan yang didapat dari hasil uji coba. Lakukan pengadukan, biarkan

beberapa saat sampai benar-benar terjadi koagulasi atau menggumpal akibat dari aktivitas rennet. Penggumpalan tahu susu harus dapat dilakukan sempurna dalam waktu 10-15 menit (Sutrisno Koswara, 2009).

d) Potonglah gumpalan tahu susu yang telah terbentuk menjadi dadu-dadu kecil. Potong dengan menggunakan pisau tangkai panjang dengan ukuran sebesar 3 cm X 3 cm X 3 cm.
e) Panaskan kembali potongan tahu susu yang telah dikukunkan pada butir E dengan suhu butir 5. Pastikan suhu panasnya sudah mencapai 400 derajat Celcius supaya semua cairan " whey "nya dapat keluar dengan sempurna (Sutrisno Koswara, 2009).
f) Siapkan cetakan keju, sisihkan. Lapisi bagian bawah cetakan dengan menggunakan kain saring. Tuangkan semua tahu susu yang sudah dingin ke dalam cetakan keju tadi lalu tekan seperti pada proses pembuatan pada cetakan keju tersebut selama 2-3 jam atau sampai sisa “whey” nya keluar.
g) Rendam keju yang sudah selesai dalam larutan garam jenuh selama kurang lebih 12 – 24 jam.
h) Setelah keju direndam dalam larutan garam biasa, maka keju tersebut harus dibiarkan terkena udara pada suhu kamar selama satu

hari atau sampai membentuk kulit pada bagian permukaannya.

i) Setelah kulit keju terbentuk, kita oleskan parafin pada permukaannya dengan cara-menuangkan keju tersebut kedalam parafin cair atau lebih biasa dengan cara mencelupkan.

j) Setelah di lapisi dengan parafin ditempatkan didalam lemari es suhu antara 3-40 derajat Celsius dengan kadar kelembapan relatif 70% - 75% selama 6 –7 hari agar mendapatkan rasanya yang khas masing – masing (Sutrisno Koswara, 2009).

DAFTAR PUSTAKA

Erita, 2020. Buku Ajar Teknologi Hasil Ternak (Pengolahan Produksi Susu). Yayasan Pendidikan dan Sosial Indonesia Maju (YPSIM) Banten.

Chairunnisa, H. 2006. Penggunaan Starter Bakteri Asam Laktat pada Produk susu Fermentasi (Lifihomi). Jurnal Ilmu Ternak. Universita Padjajaran Bandung. J. 6(2): 102 – 107.

Nurliyani, 2012. Penanganan dan Pengolahan Susu Secara Sederhana. Klaten, Indonesia.

Rahayu, K. dan S. Sudarmadji, 1989. Mikrobiologi Pangan dan Protein Hewani. PAU Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Rahman, A.S. Fardiaz. W.P Rahayu, Suliantari dan C.C. Nurwitri, 1992.

Teknologi Fermentasi Susu. PAU Pangan dan Gizi Institut Pertanian Bogor.

Rachmawan, O. 2001. Penanganan Susu Segar. Departemen Pendidikan Indonesia. Proyek Pengembangan Sistem dan

Standar Pengelolaan SMK Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta.

Siti Asih Wardhani, Helmi Haris, dan Muhammad Zainal Fanani, 2023. Kajian Produk Olahan Susu Fermentasi , Jurnal Ilmiah

Pangan Halal Volume 5 Nomor 1, April 2023. Fakultas Pertanian, Universitas Djuanda.

Sutrisno Koswara, 2009. Teknologi Pengolahan Susu, Universitas Muhammadiyah Semarang

Sri Usmiati dan Abu Bakar, 2009. Buku Teknologi Pengolahan Susu, Wisnu Broto Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian Bogor.

Wicaksono, Y, Fanani, M.Z dan Jumiono, A. 2022. Potensi Pengembangan Produk Susu Bebas Laktosa Bagi Penderita Lactose Intolerance. Jurnal Ilmiah Pangan Halal, 4(1), 16 – 24.

BAB 5
TEKNOLOGI PENGOLAHAN TELUR DAN PRODUK OLAHANNYA

5.1 Karakteristik Telur sebagai Bahan Baku Industri

5.1.1 Komposisi Kimia Telur

Telur adalah bahan pangan dengan sistem koloid yang kompleks, sehingga karakteristiknya sangat ditentukan oleh proporsi air, protein, lipid, dan fraksi fosfolipid seperti lesitin. Komponen utama telur ayam umumnya terdiri atas air, protein, dan lemak, sedangkan kuning telur memiliki kontribusi lipid dan fosfolipid yang jauh lebih besar dibanding putih telur. Komposisi ini menjelaskan mengapa putih telur cenderung berperan sebagai pembentuk busa, sedangkan kuning telur lebih dominan sebagai pembentuk emulsi (Xu *et al*., 2024).

Protein telur merupakan komponen paling penting secara fungsional karena berperan dalam pembentukan struktur, pengentalan, koagulasi, dan pembentukan buih. Protein telur pada putih telur merupakan protein larut air

seperti ovalbumin, ovotransferrin, dan ovomucin membentuk jaringan yang stabil saat dikocok atau dipanaskan, sehingga sangat berguna dalam produk seperti meringue, cake, soufflé, dan custard. Kandungan kuning telur, sebagian besar protein berasosiasi dengan lipid membentuk lipoprotein, sehingga sifatnya berbeda: lebih banyak mendukung emulsifikasi daripada pembentukan busa (Sun *et al*., 2025). Selain itu, protein telur memiliki nilai biologis tinggi karena mengandung asam amino esensial lengkap dan mudah dicerna tubuh (Abeyrathne *et al*., 2013).

Lipid pada kuning telur terdiri atas trigliserida, fosfolipid, serta kolesterol. Komponen lipid berperan dalam memberikan cita rasa, tekstur, dan sumber energi pada telur. Kandungan asam lemak telur dapat dipengaruhi oleh pakan unggas, terutama pada produksi telur omega-3. Namun lipid telur mudah mengalami oksidasi selama penyimpanan dan pengolahan suhu tinggi sehingga menurunkan mutu produk (Javed *et al*., 2019).

Lesitin merupakan fosfolipid utama pada kuning telur yang berfungsi sebagai emulsifier alami. Lesitin mampu menstabilkan campuran minyak dan air dengan menurunkan tegangan permukaan. Oleh karena itu, kuning telur banyak digunakan dalam pembuatan mayones, saus, margarin, dan produk emulsi lainnya. Selain fungsi teknologi, lesitin juga menjadi sumber kolin yang penting bagi metabolism tubuh (Amertaningtyas, 2011).

Komponen lain pada telur yaitu air. Kandungan air yang merupakan komponen terbesar dalam telur, sekitar

75% terutama pada putih telur. Kandungan air mempengaruhi kesegaran, tekstur, aktivitas mikroba, dan umur simpan telur. Selama penyimpanan terjadi penguapan air melalui pori kerabang yang menyebabkan penurunan kualitas internal telur. Kadar air yang tinggi juga menyebabkan telur mudah rusak sehingga diperlukan teknologi pengolahan seperti pendinginan, pasteurisasi, dan pengeringan untuk memperpanjang umur simpan.

5.1.2 Sifat Fungsional Telur

Telur merupakan bahan pangan yang memiliki sifat fungsional penting dalam industri pangan karena kandungan protein dan fosfolipidnya mampu memengaruhi tekstur, kestabilan, dan struktur produk. Sifat fungsional telur meliputi emulsifikasi, koagulasi protein, pembentukan busa (*foaming*), dan kemampuan sebagai *binding agent*. Karakteristik tersebut menyebabkan telur banyak digunakan dalam produk bakery, daging olahan, saus, mayones, hingga pangan instan (Khalifa *et al*., 2025; Razi *et al*., 2023).

a. Emulsifikasi

Emulsifikasi merupakan kemampuan telur untuk mencampurkan dua fase yang secara alami tidak dapat bercampur, seperti minyak dan air. Sifat ini terutama berasal dari lesitin dan lipoprotein pada kuning telur yang bersifat amfifilik, yaitu memiliki gugus hidrofilik dan hidrofobik sekaligus. Komponen tersebut mampu

menurunkan tegangan permukaan sehingga emulsi menjadi lebih stabil (Suhag, 2024).

Kemampuan emulsifikasi telur dimanfaatkan pada pembuatan mayones, saus salad, margarin, es krim, dan adonan bakery. Stabilitas emulsi dipengaruhi oleh konsentrasi protein, pH, suhu, serta interaksi antara fosfolipid dan protein telur. Protein telur juga membantu membentuk lapisan pelindung di sekitar globula lemak sehingga mencegah pemisahan fase minyak dan air selama penyimpanan (Tian *et al*., 2024).

b.Koagulasi Protein

Koagulasi protein merupakan proses perubahan struktur protein akibat pemanasan, pengocokan, perubahan pH, atau penambahan garam sehingga protein mengalami denaturasi dan membentuk jaringan tiga dimensi yang padat. Proses ini terutama terjadi pada protein putih telur seperti ovalbumin dan ovotransferrin (Li *et al*., 2024).

Ketika dipanaskan, ikatan antarprotein terbuka dan membentuk agregasi protein yang menghasilkan tekstur padat atau gel. Sifat ini penting dalam pembentukan struktur pada custard, puding, nugget, sosis, dan produk bakery. Koagulasi juga berperan dalam peningkatan tekstur, daya iris, dan kestabilan produk pangan (Lv *et al*., 2022). Suhu pemanasan sangat mempengaruhi kualitas koagulasi. Tetapi pemanasan dengan suhu berlebih dapat

menyebabkan jaringan protein terlalu padat sehingga tekstur menjadi keras dan kehilangan kemampuan mengikat air.

c. Foaming

Foaming merupakan kemampuan protein telur, terutama putih telur, dalam membentuk dan mempertahankan gelembung udara selama proses pengocokan. Protein putih telur seperti ovalbumin, ovomucin, dan globulin akan terdenaturasi secara parsial saat dikocok, kemudian membentuk lapisan tipis di sekitar gelembung udara sehingga busa menjadi stabil (Ma *et al*., 2026).

Kemampuan pembentukan busa sangat penting dalam produk sponge cake, meringue, mousse, dan berbagai produk bakery lainnya karena menentukan volume dan tekstur produk akhir. Ovomucin diketahui berperan besar dalam mempertahankan stabilitas busa, sedangkan ovalbumin berkontribusi terhadap pembentukan struktur busa (Abeyrathne *et al*., 2025).

Faktor-faktor seperti suhu, pH, kandungan lemak, dan lama pengocokan dapat mempengaruhi kapasitas dan stabilitas busa telur. Keberadaan lemak dalam jumlah kecil dapat menurunkan kemampuan foaming karena mengganggu pembentukan lapisan protein pada permukaan gelembung udara (Li *et al*., 2021).

d. Binding Agent

Telur juga berfungsi sebagai *binding agent* atau bahan pengikat dalam produk pangan. Fungsi ini berasal dari kemampuan protein telur membentuk jaringan gel yang dapat menyatukan komponen bahan pangan selama proses pemasakan (Khalifa *et al*., 2025). Produk olahan daging seperti nugget, bakso, sosis, dan patty, telur membantu meningkatkan kekompakan struktur, memperbaiki tekstur, serta mengurangi kehilangan air selama pemanasan. Selain itu, telur membantu mempertahankan bentuk produk dan meningkatkan daya terima sensori (Puertas & Vázquez, 2021). Kemampuan pengikatan air (*water holding capacity*) pada protein telur juga mendukung fungsi binding karena air dapat terperangkap dalam matriks protein yang terbentuk selama koagulasi (Ye *et al*., 2025).

5.2 Prinsip Dasar Pengolahan Teknologi Pengolahan Telur

5.2.1 Tujuan Pengolahan

Pengolahan telur dilakukan untuk meningkatkan kualitas, keamanan, stabilitas, serta nilai ekonomi produk. Selain sebagai upaya mempertahankan mutu, pengolahan juga bertujuan untuk memperluas pemanfaatan telur dalam berbagai produk pangan. Teknologi pengolahan telur berkembang dari metode konvensional hingga teknologi modern seperti pasteurisasi, pengeringan, pembekuan, dan *high pressure processing* untuk

menghasilkan produk yang lebih aman, praktis, dan memiliki umur simpan lebih Panjang (Yuan *et al*., 2025).

a. Preservasi (memperpanjang umur simpan)

Telur merupakan bahan pangan yang mudah mengalami penurunan kualitas selama penyimpanan akibat aktivitas mikroorganisme, kehilangan air, oksidasi lipid, dan perubahan sifat protein. Salah satu tujuan utama pengolahan telur adalah memperpanjang umur simpan melalui penghambatan kerusakan fisik, kimia, dan mikrobiologis (Bermudez-Aguirre & Niemira, 2023).

Berbagai metode preservasi digunakan pada produk telur, seperti pendinginan, pengeringan, pembekuan, pelapisan (*coating*), dan pasteurisasi. Pengolahan tersebut mampu memperlambat pertumbuhan mikroba, menurunkan aktivitas air, serta mempertahankan kualitas internal telur selama penyimpanan. Teknologi pelapisan berbasis kitosan dilaporkan mampu mempertahankan kualitas telur dan memperpanjang umur simpan hingga beberapa minggu pada suhu ruang. Pengembangan teknologi non-termal pada industri modern seperti *high pressure processing* juga mulai digunakan untuk mempertahankan kualitas sensoris dan nilai gizi telur tanpa menyebabkan kerusakan berlebih akibat panas (Bermudez-Aguirre & Niemira, 2023).

b. Modifikasi dan Fungsi

Tujuan penting lainnya dari pengolahan telur adalah memodifikasi tekstur dan meningkatkan fungsi teknologi pangan. Protein dan fosfolipid telur memiliki sifat fungsional seperti emulsifikasi, pembentukan gel, pembentukan busa, dan pengikatan air yang sangat penting dalam industri pangan. Proses pengolahan dapat mengubah struktur protein sehingga menghasilkan tekstur tertentu sesuai karakteristik produk yang diinginkan.

Pemanasan menyebabkan denaturasi dan koagulasi protein sehingga terbentuk struktur gel yang memberikan tekstur padat pada produk seperti custard, nugget, sosis, dan bakery. Selain itu, kemampuan pembentukan busa pada putih telur dimanfaatkan dalam produk sponge cake dan meringue untuk menghasilkan volume dan tekstur ringan. Pengolahan juga dapat meningkatkan kestabilan emulsi pada mayones, saus, dan produk berbasis lemak melalui pemanfaatan lesitin kuning telur sebagai emulsifier alami.

c. Keamanan Pangan

Keamanan pangan merupakan tujuan utama dalam pengolahan telur karena telur berpotensi menjadi media pertumbuhan mikroorganisme patogen, terutama *Salmonella spp.* Kontaminasi dapat terjadi selama pembentukan telur, penanganan, maupun penyimpanan. Oleh sebab itu, proses pengolahan dilakukan untuk

menurunkan risiko bahaya mikrobiologis dan meningkatkan keamanan konsumsi.

Pasteurisasi merupakan metode yang paling umum digunakan dalam industri telur cair untuk menginaktivasi mikroorganisme patogen tanpa merusak sifat fungsional telur secara signifikan. Selain metode termal, teknologi baru seperti iradiasi, *high pressure processing*, dan ultraviolet mulai dikembangkan sebagai alternatif untuk mempertahankan mutu produk sekaligus meningkatkan keamanan pangan. Penerapan pengolahan yang tepat juga membantu menurunkan risiko keracunan pangan, memperpanjang stabilitas produk selama distribusi, serta memenuhi standar keamanan pangan industri.

d.Peningkatan Nilai Ekonomi

Pengolahan telur memberikan nilai tambah ekonomi melalui diversifikasi produk, peningkatan daya simpan, serta perluasan distribusi pemasaran. Telur segar memiliki umur simpan relatif pendek sehingga pengolahan menjadi telur cair, telur bubuk, mayones, produk bakery, dan pangan instan dapat meningkatkan nilai jual produk. Produk olahan telur juga memiliki keunggulan dalam aspek praktis, efisiensi distribusi, dan kemudahan penggunaan pada industri pangan skala besar. Telur bubuk, misalnya, lebih stabil selama penyimpanan dan

lebih mudah digunakan sebagai bahan baku industri dibandingkan telur segar.

Perkembangan teknologi pengolahan memungkinkan pemanfaatan komponen telur bernilai tinggi seperti protein bioaktif, lesitin, dan fosfolipid untuk industri pangan fungsional, farmasi, dan kosmetik. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengolahan telur tidak hanya bertujuan mempertahankan mutu, tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi dan daya saing produk pangan berbasis telur (Bermudez-Aguirre & Niemira, 2023).

5.2.2 Perubahan Fisikokima Selama Pengolahan Telur

Pengolahan telur melibatkan berbagai perubahan fisikokimia yang mempengaruhi struktur, tekstur, warna, cita rasa, serta sifat fungsional produk. Perubahan tersebut terutama terjadi akibat perlakuan panas, pengeringan, pengocokan, maupun interaksi kimia antar komponen telur. Perubahan fisikokimia utama selama pengolahan telur meliputi denaturasi protein, gelasi, dan reaksi Maillard. Proses-proses tersebut sangat menentukan kualitas akhir produk olahan telur (Li *et al*., 2021).

a. Denaturasi Protein

Denaturasi protein merupakan perubahan struktur tiga dimensi protein akibat pengaruh panas, perubahan pH, tekanan, atau pengadukan mekanis tanpa memutus ikatan peptida utama.

Denaturasi protein terutama terjadi pada protein putih telur seperti ovalbumin, ovotransferrin, dan ovomucin selama proses pemanasan.

Ketika dipanaskan, struktur protein yang semula terlipat akan terbuka sehingga gugus hidrofobik dan reaktif menjadi terekspos. Kondisi ini menyebabkan protein kehilangan struktur alami dan mulai berinteraksi satu sama lain membentuk agregat protein. Denaturasi protein sangat penting dalam pengolahan telur karena menjadi tahap awal terbentuknya tekstur pada telur rebus, custard, bakery, dan produk olahan lainnya.

Tetapi jika denaturasi terjadi secara berlebihan dapat menyebabkan tekstur produk menjadi terlalu keras, kehilangan kemampuan mengikat air, dan menurunkan kualitas sensori. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan waktu pemanasan menjadi faktor penting dalam pengolahan telur.

b. Gelasi

Gelasi merupakan proses pembentukan jaringan tiga dimensi akibat agregasi protein setelah denaturasi. Proses ini terjadi ketika protein yang telah terdenaturasi saling berikatan membentuk matriks gel yang mampu menahan air dan komponen lainnya. Gelasi berperan penting dalam pembentukan tekstur semi padat atau padat pada berbagai produk pangan.

Protein putih telur memiliki kemampuan gelasi yang sangat baik karena kandungan ovalbumin yang tinggi. Selama pemanasan, molekul protein membentuk ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan ikatan disulfida sehingga menghasilkan struktur gel yang stabil. Sifat gelasi ini dimanfaatkan dalam pembuatan nugget, sosis, custard, tahu telur, dan produk bakery.

Karakteristik gel yang terbentuk dipengaruhi oleh suhu, pH, konsentrasi protein, serta keberadaan garam dan gula. Gel yang terlalu kuat dapat menyebabkan tekstur keras, sedangkan gel yang lemah menghasilkan produk kurang stabil.

c. Reaksi Maillard

Reaksi Maillard merupakan reaksi kimia antara gugus amino dari protein dengan gula pereduksi akibat pemanasan. Reaksi ini menghasilkan perubahan warna cokelat (*browning*), aroma khas, dan pembentukan senyawa flavor pada produk pangan. Produk olahan telur, reaksi Maillard sering terjadi selama pemanggangan, penggorengan, dan pengeringan suhu tinggi.

Reaksi Maillard berkontribusi terhadap pembentukan warna dan aroma yang diinginkan pada produk bakery, kue, roti, dan telur panggang. Selain memberikan karakteristik sensori positif, reaksi ini juga dapat menghasilkan senyawa antioksidan tertentu.

Namun, reaksi Maillard yang berlangsung berlebihan dapat menurunkan kualitas nutrisi protein karena berkurangnya ketersediaan asam amino esensial, terutama lisin. Selain itu, pemanasan suhu tinggi dapat menghasilkan senyawa yang berpotensi merugikan seperti akrilamida dan produk akhir glikasi (*advanced glycation end products*). Oleh sebab itu, pengendalian suhu dan waktu pengolahan sangat diperlukan untuk menghasilkan mutu produk yang optimal.

5.3 Teknologi Pengolahan Telur Segar

5.3.1 Pembersihan dan Grading

Pembersihan dan *grading* merupakan tahap awal yang sangat penting dalam pengolahan telur karena berpengaruh terhadap kualitas, keamanan pangan, dan nilai jual produk. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan pada permukaan kerabang serta mengelompokkan telur berdasarkan mutu dan ukuran sehingga diperoleh produk yang seragam dan layak dipasarkan. Penanganan awal yang baik dapat membantu mempertahankan kualitas internal telur selama distribusi dan penyimpanan

a. Pembersihan Telur

Pembersihan telur dilakukan untuk menghilangkan kotoran seperti feses, debu, darah, dan mikroorganisme yang menempel pada

permukaan kerabang. Kontaminasi pada kerabang telur dapat menjadi sumber masuknya mikroorganisme patogen, terutama *Salmonella spp.*, melalui pori-pori kerabang apabila penanganan dilakukan secara tidak tepat. Proses pembersihan menjadi langkah penting dalam menjaga keamanan pangan telur (Jones *et al*., 2018).

Metode pembersihan dapat dilakukan secara kering maupun basah. Pembersihan kering biasanya menggunakan sikat atau amplas halus untuk menghilangkan kotoran ringan tanpa merusak lapisan kutikula telur. Sementara itu, pencucian basah menggunakan air hangat dan sanitiser lebih efektif dalam mengurangi jumlah mikroorganisme pada permukaan telur. Namun, penggunaan air dengan suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya tekanan negatif sehingga mikroorganisme lebih mudah masuk ke dalam telur melalui pori kerabang. Selain suhu air, penggunaan bahan sanitasi seperti klorin, ozon, atau asam organik juga mempengaruhi efektivitas pembersihan telur. Pembersihan yang tepat mampu menurunkan cemaran mikroba tanpa merusak kualitas internal telur (Silva Neto *et al*., 2024).

b. Grading Telur

Grading merupakan proses pengelompokan telur berdasarkan kualitas dan ukuran untuk menghasilkan standar mutu yang seragam.

Penilaian mutu telur umumnya dilakukan berdasarkan kondisi kerabang, ukuran ruang udara, kekentalan albumen, posisi kuning telur, serta berat telur. Proses ini penting untuk meningkatkan nilai ekonomi dan mempermudah distribusi produk sesuai kebutuhan pasar (Yang *et al*., 2023).

Kualitas telur dibedakan menjadi beberapa grade, seperti Grade AA, A, dan B. Telur dengan kualitas tinggi memiliki kerabang bersih, albumen kental, ruang udara kecil, dan kuning telur yang stabil di bagian tengah. Penentuan kualitas internal telur sering menggunakan nilai *Haugh Unit* sebagai indikator kesegaran telur. Nilai tersebut dihitung berdasarkan tinggi albumen dan berat telur.

Perkembangan teknologi modern memungkinkan proses grading dilakukan secara otomatis menggunakan sensor optik, *machine vision*, dan sistem berbasis kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi industri telur. Teknologi tersebut mampu mendeteksi retakan kerabang, ukuran telur, hingga kualitas internal tanpa merusak produk (Bermudez-Aguirre & Niemira, 2023).

5.3.2 Pasteurisasi Telur Cair

Pasteurisasi telur cair merupakan proses pemanasan terkendali yang bertujuan untuk menginaktivasi mikroorganisme patogen, terutama *Salmonella spp.*, tanpa merusak sifat fungsional telur secara signifikan. Produk telur cair umumnya dibedakan

menjadi *whole egg* (telur utuh cair), *egg white* (putih telur cair), dan *egg yolk* (kuning telur cair). Masing-masing produk memiliki karakteristik kimia berbeda sehingga memerlukan kondisi pasteurisasi yang berbeda pula (Deak, 2014).

Pasteurisasi pada produk telur cair menjadi sangat penting karena telur memiliki kandungan protein dan air tinggi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Selain meningkatkan keamanan pangan, pasteurisasi juga membantu memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas produk selama distribusi dan penyimpanan.

5.3.3 Pendinginan dan Penyimpanan

Pendinginan merupakan teknologi pascapanen yang esensial dalam mempertahankan mutu internal dan eksternal telur segar selama masa simpan. Penurunan suhu secara signifikan memperlambat laju degradasi fisik dan kimiawi, terutama dengan menekan laju penguapan air dan pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) melalui pori-pori kerabang. Proses penguapan yang terhambat secara langsung meminimalisasi kehilangan bobot telur dan mencegah pembesaran ukuran rongga udara (*air cell*), yang menjadi parameter utama kesegaran fisik secara eksternal. Secara internal, retensi gas CO_2 yang optimal menjaga kestabilan pH albumen, sehingga proses pencairan putih telur (*thinning*) dapat ditekan dan nilai *Haugh Unit* (HU) tetap terjaga tinggi. Suhu rendah juga mempertahankan integritas membran vitelin, sehingga kuning telur tidak mudah pecah dan bentuknya tetap stabil. Berdasarkan pandangan keamanan pangan,

penerapan rantai dingin (*cold chain*) yang tidak terputus dari tahap pengumpulan hingga distribusi menjadi sangat krusial.

Rantai dingin secara efektif mengendalikan proliferasi mikroorganisme pembusuk dan patogen endogen maupun eksogen, termasuk *Salmonella* spp., sehingga umur simpan produk dapat diperpanjang secara maksimal dengan risiko kontaminasi biologis yang terkendali (Garcia *et al*., 2026).

Praktek penyimpanan telur segar dalam industri modern berfokus pada modifikasi lingkungan terkontrol yang presisi dan didasarkan pada riset serta standar internasional mutakhir. Rekomendasi penyimpanan saat ini secara umum menetapkan rentang suhu optimal antara 0–5°C, yang secara ketat dikombinasikan dengan tingkat kelembapan relatif (RH) sebesar 75–85% (Ikusika *et al*., 2025). Regulasi kelembaban pada persentase tersebut didesain untuk membatasi proses dehidrasi isi telur tanpa menciptakan lingkungan yang terlalu basah, yang berisiko memicu pertumbuhan koloni kapang pada permukaan kerabang. Selain pengaturan suhu absolut, mitigasi terhadap fluktuasi suhu di sepanjang rantai pasok merupakan hal yang sangat kritis. Perubahan suhu yang drastis memicu fenomena kondensasi atau *sweating* pada kerabang telur; lapisan air akibat embun ini berpotensi melarutkan lapisan kutikula pelindung dan memfasilitasi penetrasi bakteri secara kapilaritas ke dalam pori-pori kerabang. Fasilitas penyimpanan skala industri masa kini wajib mengintegrasikan teknologi ruang pendingin terkontrol otomatis (*automated cold storage*) dengan sistem sensor pemantauan iklim mikro secara *real-time*.

Penerapan sistem terpadu ini menjamin konsistensi mutu yang tinggi, menekan tingkat kerugian ekonomi pascapanen, dan memenuhi kriteria keamanan pangan global (Fj *et al*., 2023).

5.3.4 Pembekuan Telur (*Frozen Egg*)

Pendinginan merupakan teknologi pascapanen utama untuk mempertahankan mutu dan keamanan telur segar. Selama penyimpanan, telur mengalami kehilangan air dan CO_2 melalui pori-pori cangkang, yang menyebabkan peningkatan pH albumen, degradasi ovomucin, pengenceran putih telur, pembesaran rongga udara, serta penurunan nilai Haugh Unit (HU). Penyimpanan pada suhu rendah mampu memperlambat perubahan tersebut, mempertahankan kekentalan albumen dan kualitas kuning telur, serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen, termasuk *Salmonella Enteritidis*. Penerapan *cold chain* secara konsisten sangat penting untuk menjaga kesegaran dan keamanan telur. Saat ini, telur segar direkomendasikan disimpan pada suhu 0–5°C dengan kelembapan relatif 75–85%, yang semakin didukung oleh sistem pemantauan berbasis teknologi digital dan kecerdasan buatan untuk pengendalian mutu yang lebih presisi (Bilyaro *et al*., 2021).

Penyimpanan jangka panjang pada proses pembekuan digunakan sebagai metode pengawetan yang mampu memperpanjang umur simpan telur hingga lebih dari enam bulan. Pembekuan dilakukan pada telur cair, putih telur, atau kuning telur karena pembekuan telur bercangkang berisiko menyebabkan cangkang pecah

akibat pembentukan kristal es. Meskipun efektif menekan aktivitas mikroba dan reaksi enzimatis, proses *freeze-thaw* dapat menyebabkan denaturasi protein, perubahan tekstur, dan penurunan sifat fungsional. Berbagai inovasi seperti *rapid freezing*, penggunaan *cryoprotectant*, dan *high-pressure shift freezing* (HPSF) telah dikembangkan untuk menghasilkan kristal es yang lebih kecil sehingga kerusakan protein dapat diminimalkan. Tantangan utama pembekuan telur adalah terjadinya gelasi pada kuning telur, namun masalah ini dapat dikurangi melalui pembekuan suhu sangat rendah dan pengaturan proses pencairan yang tepat. Pembekuan menjadi alternatif pengawetan yang efektif untuk mendukung distribusi telur tanpa menurunkan nilai gizi dan sifat fungsionalnya secara signifikan (Sebayang *et al*., 2025).

5.4 Teknologi Pengolahan Telur Kering (*Egg Powder*)

5.4.1 Proses Pengolahan Telur Kering

Homogenisasi dan pasteurisasi merupakan tahap penting dalam pengolahan telur cair sebelum pengeringan. Homogenisasi bertujuan menghasilkan distribusi partikel yang seragam melalui pemecahan aglomerat lemak dan protein sehingga meningkatkan stabilitas emulsi, terutama pada telur utuh dan kuning telur. Keseragaman partikel juga mendukung proses pengeringan yang lebih efisien. Pasteurisasi berfungsi menjamin keamanan pangan melalui inaktivasi mikroorganisme patogen seperti *Salmonella spp.* tanpa

mengurangi sifat fungsional protein telur. Pengendalian suhu dan waktu pemanasan menjadi faktor krusial karena perlakuan yang berlebihan dapat menyebabkan denaturasi protein yang menurunkan daya busa, kapasitas emulsifikasi, dan kelarutan produk akhir (Lestari *et al*., 2022).

Spray drying merupakan metode pengeringan yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan bubuk telur berkadar air rendah dengan umur simpan panjang serta kemudahan distribusi. Proses ini dilakukan dengan mengatomisasi telur cair menjadi droplet halus yang dikeringkan secara cepat menggunakan udara panas. Kualitas bubuk telur sangat dipengaruhi oleh suhu inlet dan outlet serta tekanan atomisasi. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi dan agregasi protein sehingga menurunkan kemampuan emulsifikasi, rehidrasi, dan sifat fungsional lainnya. Sebaliknya, penggunaan suhu moderat terbukti mampu mempertahankan kapasitas pengikatan air dan kualitas protein. Berbagai inovasi, seperti penggunaan bahan dinding (*wall material*) untuk mikroenkapsulasi dan teknologi *ultrasonic-assisted spray drying*, terus dikembangkan guna meningkatkan retensi nutrisi, stabilitas oksidatif, efisiensi energi, serta kualitas sensoris produk akhir. Dengan optimasi parameter proses yang tepat, *spray drying* tetap menjadi teknologi utama dalam produksi dan distribusi telur kering secara efisien dan berkelanjutan (Koç *et al*., 2011).

5.4.2 Jenis Produk Telur Kering

Whole egg powder (WEP) merupakan produk telur kering yang dihasilkan dari pengeringan telur utuh cair sehingga tetap mempertahankan komposisi alami putih dan kuning telur. WEP mengandung protein, lemak, vitamin larut lemak, dan mineral yang relatif lengkap, serta memiliki sifat fungsional yang baik setelah rehidrasi, seperti emulsifikasi, gelasi, dan pembentukan busa. Karakteristik tersebut menjadikan WEP banyak digunakan dalam industri bakery, produk instan, saus, mayonnaise, dan makanan siap saji. Selain memiliki umur simpan lebih panjang dibandingkan telur segar, WEP juga mudah didistribusikan dan stabil selama penyimpanan pada suhu ruang, sehingga menjadi bahan baku penting bagi industri pangan skala besar (Zang *et al*., 2024).

Egg white powder (EWP) merupakan produk hasil pengeringan putih telur yang kaya protein albumen dan sangat rendah lemak. Kandungan protein utama seperti ovalbumin, ovotransferrin, ovomucoid, ovomucin, dan lisozim memberikan kemampuan foaming yang sangat baik, sehingga EWP banyak dimanfaatkan pada produk bakery, meringue, confectionery, surimi, serta produk nutrisi olahraga. Namun, proses pengeringan dapat menurunkan sifat foaming dan kelarutan protein, terutama pada suhu tinggi. Berbagai inovasi pengeringan, seperti freeze drying, pengeringan ultrasonik vakum, dan teknologi elektrohidrodinamik, terus dikembangkan untuk mempertahankan sifat fungsional dan nilai gizi EWP (Abeyrathne *et al*., 2013b).

Egg yolk powder (EYP) merupakan produk telur kering yang kaya lipid, fosfolipid, lesitin, pigmen karotenoid, dan senyawa bioaktif lainnya. EYP berfungsi sebagai emulsifier alami yang penting dalam produk emulsi seperti mayonnaise dan dressing, serta berkontribusi terhadap warna, flavor, tekstur, dan retensi kelembapan pada produk bakery. Sifat emulsifikasinya dipengaruhi oleh pH, kekuatan ionik, perlakuan panas, dan metode pengolahan. Selain aplikasi pangan konvensional, lesitin dalam EYP memiliki manfaat kesehatan yang penting, terutama untuk perkembangan sistem saraf dan fungsi kognitif. Penelitian terbaru juga menunjukkan potensi EYP sebagai bahan pembawa senyawa bioaktif dalam sistem penghantaran berbasis emulsi, sehingga berpeluang dikembangkan sebagai bahan baku pangan fungsional dan nutraseutikal (Imawan *et al*., 2023).

5.4.3 Keunggulan Produk Telur Kering (*Egg Powder*)

Pengeringan pada produk telur kering, seperti *whole egg powder*, *egg white powder*, dan *egg yolk powder*, mampu memperpanjang umur simpan secara signifikan dengan menurunkan kadar air hingga 2,6–4% dan aktivitas air (*water activity*) di bawah 0,2. Kondisi ini menghambat pertumbuhan mikroorganisme serta memperlambat reaksi enzimatis dan kimia, termasuk oksidasi lipid dan denaturasi protein, sehingga mutu produk tetap terjaga selama penyimpanan. Pengemasan yang tepat, produk telur kering dapat disimpan pada suhu 15–25 °C selama 12–24 bulan tanpa penurunan kualitas yang berarti. Penggunaan kemasan berpenghalang tinggi,

pengemasan vakum, dan penambahan antioksidan semakin meningkatkan stabilitas produk selama penyimpanan.

Selain memiliki umur simpan panjang, telur kering menawarkan keunggulan logistik yang besar karena penurunan kadar air mampu mengurangi berat dan volume hingga 75–80% dibandingkan telur segar. Hal ini meningkatkan efisiensi transportasi, penyimpanan, dan distribusi, serta menghilangkan kebutuhan refrigerasi. Oleh karena itu, telur kering banyak dimanfaatkan dalam perdagangan internasional, industri pangan skala besar, serta penyediaan pangan darurat dan militer. Stabilitas yang tinggi, risiko kerusakan yang rendah, dan kemudahan rehidrasi juga menjadikan telur kering sebagai bahan baku yang ideal untuk rantai pasok pangan modern dan sistem produksi pangan otomatis.

5.5 Produk Olahan Telur Berbasis Pemanasan (*Thermal Processing*)

5.5.1 Produk Tradisional : Telur Rebus, Telur Asin dan Telur Pindang

Telur rebus merupakan produk olahan telur paling sederhana yang dihasilkan melalui pemanasan dalam air panas atau uap. Selama pemasakan, protein putih dan kuning telur mengalami denaturasi dan koagulasi sehingga berubah dari fase cair menjadi gel. Suhu dan waktu pemanasan memengaruhi tekstur, warna kuning telur, serta kualitas sensori produk. Selain membentuk karakteristik fisik yang diinginkan, pemanasan pada suhu

di atas 70°C juga berperan dalam menginaktivasi mikroorganisme patogen seperti *Salmonella spp.* Perkembangan teknologi pengolahan telur rebus saat ini meliputi *sous-vide cooking*, *controlled temperature cooking*, dan produk telur rebus *ready-to-eat* yang memiliki umur simpan 7–14 hari dalam kondisi refrigerasi (Khansa Nabilah *et al*., 2026).

Telur asin merupakan produk tradisional yang dihasilkan melalui proses penggaraman dan pemanasan. Difusi garam ke dalam telur menyebabkan peningkatan kadar garam dan penurunan aktivitas air, sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Selama proses pengasinan terjadi denaturasi parsial protein dan perubahan lipid yang menghasilkan tekstur kuning telur masir serta cita rasa gurih khas. Pemanasan selanjutnya meningkatkan keamanan pangan dan stabilitas produk. Telur asin umumnya memiliki umur simpan 2–3 minggu pada suhu ruang dan dapat mencapai 1–2 bulan dalam refrigerasi. Inovasi terkini berfokus pada percepatan proses penggaraman, pengurangan kadar natrium, dan penggunaan kemasan vakum untuk meningkatkan kualitas produk (Kaewmanee *et al*., 2009).

Telur pindang merupakan produk olahan telur yang dibuat melalui perebusan dalam larutan garam, rempah-rempah, dan bahan kaya tanin seperti daun, kulit kayu, atau teh. Tanin dan senyawa fenolik berinteraksi dengan protein telur sehingga menghasilkan warna cokelat khas pada permukaan telur. Proses pemasakan menyebabkan denaturasi dan koagulasi protein sekaligus meningkatkan keamanan pangan dan daya simpan produk. Telur pindang memiliki nilai budaya dan ekonomi

yang tinggi di Indonesia serta dapat disimpan selama 1–2 minggu pada suhu ruang. Pengembangan terbaru meliputi standarisasi formulasi, penggunaan kemasan vakum, dan teknologi pengemasan berpenghalang tinggi (*high-barrier packaging*) untuk memperpanjang umur simpan tanpa menghilangkan karakteristik tradisionalnya (Hakim *et al*., 2019).

5.5.2 Produk Modern: Scrambel Egg dan Omellet

Scrambled egg merupakan produk olahan telur yang dibuat melalui pengadukan selama pemanasan pada suhu sekitar 70–80°C. Proses ini menyebabkan denaturasi dan koagulasi protein putih dan kuning telur sehingga terbentuk struktur yang lunak, lembut, dan homogen. Suhu pemasakan serta intensitas pengadukan sangat menentukan tekstur dan kelembapan produk. Pengadukan kontinu pada suhu terkontrol mampu meningkatkan retensi air sehingga menghasilkan tekstur yang lembut, sedangkan pemanasan berlebih dapat menyebabkan agregasi protein berlebihan dan menghasilkan produk yang kering serta keras. Selain meningkatkan keamanan pangan melalui inaktivasi *Salmonella*, perkembangan teknologi saat ini telah menghasilkan produk *ready-to-eat scrambled egg*, teknologi *boil-in-bag*, serta formulasi tinggi protein untuk industri pangan modern dan layanan makanan cepat saji (Cano *et al*., 2026).

Omelet merupakan produk yang dibuat dari telur kocok yang dipanaskan, baik tanpa tambahan maupun dengan bahan lain seperti susu, sayuran, daging, atau keju. Pengocokan sebelum pemasakan memasukkan udara ke

dalam adonan sehingga meningkatkan porositas dan menghasilkan tekstur yang lebih lembut. Selama pemanasan pada suhu 63–70°C, protein telur mengalami koagulasi dan membentuk jaringan gel yang menentukan tekstur, retensi air, warna, dan kualitas sensori produk. Pengendalian suhu sangat penting karena pemanasan berlebih dapat menghasilkan tekstur yang terlalu padat dan kurang lembut. Inovasi terkini meliputi *sous-vide omelet*, produk omelet beku *ready-to-heat*, serta penggunaan telur cair pasteurisasi (*liquid whole egg*) untuk meningkatkan keamanan pangan, konsistensi mutu, dan efisiensi produksi pada industri *food service*, katering, dan makanan cepat saji (Beitia *et al*., 2025).

5.5.3 Pengaruh Suhu terhadap Tekstur, Nutrsi dan Flavor pada Produk Olahan Telur Berbasis Pemanasan

Suhu pemanasan merupakan faktor utama yang menentukan tekstur produk olahan telur karena mengendalikan denaturasi dan koagulasi protein. Protein albumen dan kuning telur yang terdenaturasi akan membentuk jaringan gel yang menentukan tingkat kekerasan dan kelembapan produk. Pemanasan pada suhu terkontrol menghasilkan jaringan protein yang mampu memerangkap air sehingga tekstur menjadi lembut dan elastis, sedangkan pemanasan berlebih menyebabkan agregasi protein yang terlalu rapat dan memicu *syneresis*, yaitu keluarnya air dari matriks gel sehingga produk menjadi kering dan keras. Untuk memperoleh tekstur yang optimal, industri pangan modern banyak memanfaatkan teknologi *sous-vide* dan

sistem pemasakan presisi yang telah dievaluasi menggunakan berbagai pendekatan analisis fisik, sensori, dan molekuler (Van Der Plancken *et al*., 2007).

Pemanasan yang tepat meningkatkan kecernaan dan bioavailabilitas nutrien telur. Kecernaan protein telur matang pada manusia mencapai sekitar 90,9% karena pemanasan menginaktivasi inhibitor protease serta melepaskan biotin dari ikatannya dengan avidin sehingga lebih mudah diserap tubuh. Namun, pemanasan yang terlalu lama atau bersuhu tinggi dapat menurunkan kandungan nutrien sensitif panas, terutama vitamin D, sehingga metode pemasakan dengan waktu lebih singkat umumnya lebih efektif dalam mempertahankan nilai gizi. Selain itu, metode pemasakan juga memengaruhi bioaksesibilitas senyawa bioaktif seperti asam lemak omega-3, karotenoid, dan peptida bioaktif (Evenepoel *et al*., 1998).

Suhu pemanasan turut berperan dalam pembentukan flavor telur matang melalui reaksi Maillard, oksidasi lipid, dan degradasi asam amino yang menghasilkan berbagai senyawa volatil. Pemanasan moderat menghasilkan aroma khas telur matang yang disukai konsumen, sedangkan pemanasan berlebihan dapat meningkatkan pembentukan hidrogen sulfida (H_2S) dan senyawa hasil reaksi Maillard yang berlebihan sehingga menimbulkan aroma sulfur menyengat atau rasa gosong. Oleh karena itu, teknologi pemasakan presisi seperti *sous-vide* yang dipadukan dengan analisis volatil modern semakin banyak digunakan untuk mengoptimalkan tekstur, nilai gizi, dan profil flavor produk olahan telur (Réhault-Godbert *et al*., 2019).

5.6 Produk Olahan Telur Fungsional dan Industri Pangan

5.6.1 Mayonnaise dan Saus Berbasis Telur (Emulsi)

Mayonnaise merupakan emulsi minyak dalam air (*oil-in-water*) yang mengandalkan kuning telur sebagai emulsifier alami. Lesitin, fosfolipid, dan lipoprotein dalam kuning telur berperan menurunkan tegangan antarmuka minyak–air serta membentuk lapisan pelindung di sekitar droplet minyak, sehingga mencegah flokulasi dan koalesensi serta menjaga stabilitas emulsi. Kualitas mayonnaise dipengaruhi oleh ukuran droplet minyak, viskositas, pH, kandungan minyak, dan stabilitas selama penyimpanan. Mayonnaise konvensional umumnya mengandung 65–80% lemak, sedangkan varian rendah lemak menggunakan kombinasi emulsifier, pengental, dan stabilizer untuk mempertahankan tekstur serta mutu sensori (Depree & Savage, 2001; McClements, 2015).

Saus berbasis telur, seperti salad dressing, hollandaise sauce, dan tartar sauce, merupakan produk emulsi yang memanfaatkan kuning telur sebagai emulsifier alami. Kandungan lesitin, fosfolipid, dan protein fungsional dalam kuning telur mampu membentuk lapisan pelindung di antarmuka minyak–air sehingga menghasilkan emulsi yang stabil. Kualitas saus sangat dipengaruhi oleh proses homogenisasi dan pasteurisasi yang berperan dalam menjaga stabilitas emulsi, keamanan pangan, dan umur simpan produk. Penerapan *High Pressure Homogenization* (HPH) juga

telah terbukti meningkatkan kualitas mikrobiologis dan karakteristik fisik emulsi berbasis telur tanpa mengurangi stabilitasnya secara signifikan (McClements, 2015).
Perkembangan industri saat ini mengarah pada penggunaan telur cair pasteurisasi sebagai bahan baku standar karena lebih aman, praktis, dan mampu menghasilkan mutu produk yang konsisten. Selain itu, kemampuan emulsifikasi kuning telur dimanfaatkan dalam pengembangan pangan fungsional melalui enkapsulasi senyawa bioaktif seperti DHA, lutein, dan fitosterol untuk meningkatkan stabilitas serta bioavailabilitasnya. Inovasi ini menjadikan saus berbasis telur tidak hanya berfungsi sebagai produk kuliner, tetapi juga sebagai media penghantar komponen pangan fungsional bernilai tambah (McClements, 2015).

5.6.2 Produk Olahan Telur Fungsional dan Industri Pangan : Aplikasi pada Produk Bakery

Telur merupakan bahan fungsional penting dalam industri bakery karena berperan sebagai sumber nutrisi sekaligus agen teknofungsional yang memengaruhi kualitas produk. Protein putih telur, terutama ovalbumin, ovotransferrin, dan ovoglobulin, berfungsi sebagai pembentuk busa dan gel, sedangkan lesitin serta lipoprotein kuning telur bertindak sebagai emulsifier yang menstabilkan interaksi antara lemak dan air. Karotenoid pada kuning telur juga berkontribusi terhadap warna dan cita rasa produk. Sifat foaming, emulsifikasi, dan gelasi yang baik menjadikan telur, baik dalam bentuk segar maupun telur kering (*egg powder*), banyak digunakan dalam produk bakery dan berbagai pangan

olahan lainnya. Multifungsionalitas ini menjadikan telur sebagai bahan strategis dalam pengembangan produk bakery modern, termasuk formulasi tinggi protein dan rendah lemak (Abeyrathne *et al*., 2025).

Telur berperan penting dalam pembentukan volume, porositas, tekstur remah (*crumb structure*), dan mutu sensori. pada pembuatan cake. Selama pengocokan, protein telur seperti ovoglobulin dan ovomucin membentuk serta menstabilkan gelembung udara, sedangkan selama pemanggangan protein telur mengalami denaturasi dan koagulasi yang bersama gelatinisasi pati membentuk struktur berpori yang stabil. Ovalbumin sebagai protein utama putih telur berperan dalam proses *heat setting* melalui pembentukan ikatan antarmolekul yang memperkuat jaringan protein. Kemampuan protein telur dalam mempertahankan gelembung udara selama pemanggangan menghasilkan volume cake yang lebih besar dan tekstur yang lebih baik. Penggunaan *egg white powder* (EWP) dan telur cair pasteurisasi juga semakin berkembang sebagai alternatif telur segar, termasuk pada formulasi cake bebas gluten dan tinggi protein (Abu-Ghoush *et al*., 2010).

Telur bekerja sinergis dengan gluten untuk memperbaiki struktur dan kualitas produk pada pembuatan roti. Kuning telur dan plasma kuning telur dapat meningkatkan elastisitas adonan, kapasitas retensi gas, serta menghasilkan struktur remah yang lebih seragam melalui interaksi lipoprotein kuning telur dengan protein gluten. Albumin telur juga menunjukkan kemampuan pembentukan dan stabilisasi busa yang sangat baik dibandingkan berbagai sumber protein non-

gluten lainnya, sehingga mendukung pembentukan volume roti yang tinggi dan pori yang merata. Selain itu, penggunaan *egg white powder* membantu meningkatkan stabilitas sel gas, mempertahankan kelembapan, dan memperlambat pengerasan remah selama penyimpanan. Oleh karena itu, telur cair pasteurisasi dan telur kering semakin banyak digunakan dalam industri bakery modern untuk menjamin konsistensi mutu, efisiensi produksi, dan pengembangan produk roti tinggi protein (Abeyrathne *et al*., 2013).

5.6.3 Produk Olahan Telur Fungsional dan Industri Pangan: Aplikasi pada Produk Daging Olahan (sebagai Binder)

Telur dan produk turunannya, seperti telur cair pasteurisasi dan bubuk telur (*egg powder*), banyak digunakan sebagai *binder* pada nugget, sosis, bakso, patty, dan berbagai produk daging olahan lainnya. Fungsi ini terutama berasal dari protein putih telur, khususnya ovalbumin, yang mengalami denaturasi dan koagulasi selama pemanasan sehingga membentuk jaringan gel yang mampu mengikat partikel daging, menahan air, dan menstabilkan lemak dalam matriks produk. Interaksi antara protein telur dan protein miofibrilar daging menghasilkan struktur yang lebih kompak, meningkatkan *water holding capacity* (WHC), kekuatan gel, kekenyalan, serta menurunkan *cooking loss*. Dampak akhirnya adalah peningkatan rendemen, kualitas tekstur, dan penerimaan sensori produk (Razi *et al*., 2023b).

Bentuk telur yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan proses produksi industri modern. Telur segar

memberikan fleksibilitas formulasi, telur cair pasteurisasi menawarkan keamanan pangan dan konsistensi mutu yang lebih baik, sedangkan bubuk telur memiliki keunggulan dalam penyimpanan, transportasi, dan aplikasi pada sistem produksi berskala besar. Oleh karena itu, telur tetap menjadi bahan fungsional penting dalam formulasi produk daging olahan karena mampu meningkatkan kualitas fisik, stabilitas, dan efisiensi proses produksi (Réhault-Godbert *et al*., 2019).

Perkembangan teknologi daging olahan modern semakin mendorong penggunaan protein telur sebagai *clean-label binder* untuk menggantikan sebagian bahan pengikat sintetis. Protein putih telur dapat berinteraksi secara sinergis dengan protein miofibrilar, seperti miosin dan aktin, membentuk matriks gel viskoelastis yang meningkatkan kekuatan gel, elastisitas, stabilitas emulsi, dan kemampuan menahan air. Efektivitasnya dapat ditingkatkan melalui kombinasi dengan hidrokoloid, seperti alginat dan karagenan, maupun protein nabati, seperti *soy protein isolate*, sehingga menghasilkan tekstur yang lebih baik dan kandungan protein yang lebih tinggi (C. Li *et al*., 2023).

Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa modifikasi protein telur melalui perlakuan termal, ultrasonik, *plasma-activated water*, maupun hidrolisis enzimatis mampu meningkatkan kelarutan, kemampuan emulsifikasi, dan sifat pembentukan gel. Teknologi ini membuka peluang pemanfaatan protein telur termodifikasi sebagai binder alami yang lebih efektif pada produk daging tinggi protein dan berlabel bersih. Namun,

penggunaannya tetap perlu dioptimalkan karena konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan agregasi protein yang berlebihan dan menurunkan kualitas tekstur produk (Zang *et al*., 2023).

5.6.4 Produk Olahan Telur Fungsional dan Industri Pangan : Peran Lesitin dan Protein Telur

Lesitin merupakan fosfolipid utama dalam kuning telur yang berperan sebagai emulsifier alami pada berbagai produk pangan, seperti mayonnaise, saus, margarin, bakery, minuman emulsi, dan cokelat. Sifat amfifilik lesitin, yang memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik, memungkinkannya berada di antarmuka minyak–air, menurunkan tegangan permukaan, serta membentuk lapisan pelindung yang menjaga stabilitas emulsi. Selain fosfatidilkolin sebagai komponen utama, kuning telur juga mengandung protein dan lipoprotein yang bekerja sinergis dalam meningkatkan kemampuan emulsifikasi. Karena itu, kuning telur menjadi salah satu sumber emulsifier alami yang paling efektif dalam industri pangan (Suhag, 2024).

Perkembangan teknologi pangan modern semakin memperluas pemanfaatan lesitin telur pada sistem nanoemulsi dan enkapsulasi senyawa bioaktif, seperti karotenoid, vitamin larut lemak, dan asam lemak omega-3. Lesitin membantu menghasilkan droplet berukuran sangat kecil dan stabil, sehingga meningkatkan bioavailabilitas senyawa bioaktif sekaligus melindunginya dari oksidasi dan degradasi selama penyimpanan. Oleh karena itu, lesitin telur kini banyak

dimanfaatkan dalam pengembangan pangan fungsional dan produk nutraseutikal modern (Silva *et al*., 2012).

Protein telur merupakan bahan fungsional penting yang berperan dalam pembentukan gel, busa (*foaming*), dan emulsi pada berbagai produk pangan, termasuk bakery, produk daging, analog susu, dan pangan siap saji. Selama proses pemanasan, protein telur mengalami denaturasi dan agregasi sehingga membentuk jaringan gel tiga dimensi yang menentukan tekstur, daya ikat air, dan stabilitas produk. Sifat fungsional tersebut dipengaruhi oleh faktor seperti konsentrasi protein, pH, dan kekuatan ionik (Réhault-Godbert *et al*., 2019).

Untuk meningkatkan kinerja fungsionalnya, protein telur kini banyak dimodifikasi melalui teknologi fisik seperti pemanasan kering, tekanan hidrostatik tinggi (*high hydrostatic pressure*), dan ultrasonikasi. Perlakuan tersebut dapat meningkatkan kelarutan, kemampuan pembentukan busa, kekuatan gel, serta stabilitas emulsi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi protein putih telur dengan teknologi tekanan tinggi mampu meningkatkan *water holding capacity*, memperkuat struktur gel, dan mengurangi *cooking loss* pada produk olahan rendah garam. Inovasi ini mendukung pengembangan pangan tinggi protein, *clean label*, dan rendah natrium yang semakin diminati industri pangan modern (Y. Li *et al*., 2024)

5.7 Inovasi Teknologi Pengolahan Telur

5.7.1 Teknologi Non-Thermal

High Pressure Processing (HPP) merupakan teknologi non-termal yang menggunakan tekanan hidrostatik tinggi (100–600 MPa) untuk menginaktivasi mikroorganisme dan enzim tanpa pemanasan yang signifikan. Pada produk telur, HPP menyebabkan perubahan struktur protein melalui gangguan ikatan non-kovalen sehingga terjadi denaturasi parsial yang dapat meningkatkan sifat fungsional protein. Perlakuan ini mampu memperbaiki kelarutan, kemampuan pembentukan busa (foaming), serta sifat gelasi protein telur, sekaligus mempertahankan nilai gizi, warna, cita rasa, dan karakteristik sensori lebih baik dibandingkan pasteurisasi termal konvensional. Karena kerusakan panas yang minimal, HPP banyak dikembangkan untuk menghasilkan produk pangan berkualitas tinggi dengan umur simpan lebih panjang dan karakteristik yang tetap segar (Barba *et al*., 2017).

Pulsed Electric Field (PEF) merupakan teknologi non-termal yang menggunakan pulsa listrik bertegangan tinggi (10–80 kV/cm) dalam waktu sangat singkat untuk menginaktivasi mikroorganisme melalui mekanisme *electroporation*, yaitu pembentukan pori pada membran sel yang menyebabkan kerusakan dan kematian mikroba. Pada telur cair, PEF mampu mempertahankan warna, flavor, dan komponen bioaktif lebih baik dibandingkan pasteurisasi panas karena paparan suhu yang rendah. Namun, efektivitas inaktivasi mikroba dapat menurun pada tingkat energi rendah sehingga sering

dikombinasikan dengan perlakuan lain, seperti pemanasan ringan, pengasaman, atau kemasan aktif dalam konsep *hurdle technology*. Saat ini, kombinasi PEF, HPP, ultrasonikasi, dan *cold plasma* menjadi fokus pengembangan industri pangan modern untuk menghasilkan produk *clean label*, bernilai gizi tinggi, dan memiliki umur simpan yang lebih Panjang (Ghoshal, 2023).

5.7.2 Fortifikasi Telur

Telur fortifikasi omega-3 merupakan produk telur fungsional yang dihasilkan melalui modifikasi pakan ayam petelur dengan penambahan sumber asam lemak omega-3, seperti minyak ikan, biji rami (*flaxseed*), dan minyak mikroalga kaya DHA. Mekanisme deposisi asam lemak omega-3 ke dalam kuning telur berlangsung melalui absorpsi usus, transportasi lipoprotein plasma, dan inkorporasi langsung ke dalam lipid kuning telur selama proses vitelogenesis. Asam lemak omega-3 rantai panjang tak jenuh ganda (PUFA), terutama ALA, EPA, dan DHA, memainkan peran esensial dalam kesehatan kardiovaskular, metabolik, neurologis, dan imun; ayam petelur yang diberi suplementasi *flaxseed* atau minyak ikan menunjukkan peningkatan kandungan ALA, EPA, dan DHA dalam telur mereka, menyediakan cara praktis untuk meningkatkan asupan omega-3 pada populasi umum. Komparasi antara sumber omega-3 menunjukkan perbedaan efisiensi yang signifikan: pada level inklusi tertinggi, ayam yang diberi pakan algal DHA menginkorporasikan DHA sebanyak tiga kali lebih banyak ke dalam telur dibandingkan ayam yang diberi pakan ALA

berbasis *flaxseed* (179 mg vs. 66,7 mg per kuning telur), dengan waktu saturasi deposisi tercapai pada minggu kedua pemberian pakan. Keunggulan tambahan mikroalga terletak pada stabilitas oksidatif yang lebih baik dan tidak adanya *off-flavor* amis yang sering muncul pada penggunaan minyak ikan. Teknologi pakan berbasis minyak alga telah berhasil meningkatkan kandungan omega-3 hingga 8–10 kali dibandingkan telur konvensional sekaligus mengurangi kontaminasi *flavor* amis yang berasal dari minyak ikan, menjadikannya alternatif yang lebih berkelanjutan untuk produksi telur omega-3 berskala komersial (Fraeye *et al*., 2012).

Perkembangan terbaru menunjukkan bahwa telur fungsional tidak hanya diperkaya omega-3, tetapi juga berbagai senyawa bioaktif lain seperti selenium, vitamin E, lutein, dan zeaxanthin melalui pendekatan multi-fortifikasi. Penambahan bahan pakan kaya karotenoid, seperti mikroalga dan ekstrak marigold, terbukti meningkatkan kandungan lutein dan zeaxanthin yang berperan penting dalam kesehatan mata sekaligus memperbaiki warna kuning telur. Kombinasi omega-3, antioksidan, vitamin, dan mineral dalam telur menjadikan produk ini sebagai media fortifikasi yang efektif, mudah diterima konsumen, dan berpotensi mendukung peningkatan kualitas gizi masyarakat. Tren tersebut sejalan dengan meningkatnya permintaan global terhadap pangan fungsional yang menawarkan manfaat kesehatan tambahan selain nilai gizi dasar (Réhault-Godbert *et al*., 2019).

5.7.3 Produk Ready-To-Eat dan Convenience Food

Produk telur *ready-to-eat* (RTE) dirancang untuk dapat dikonsumsi langsung atau hanya memerlukan pemanasan minimal sebelum disajikan, dan kini merupakan salah satu segmen yang paling cepat berkembang dalam industri pengolahan telur global. Ragam produk yang telah berkembang di industri mencakup telur rebus siap saji, *scrambled egg*, omelet, *egg bites*, dan produk sarapan berbasis telur berkemasan individual. Keberhasilan pengembangan produk ini sangat bergantung pada integrasi berbagai teknologi pengolahan dan pengemasan. *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) berperan penting dalam memperpanjang umur simpan produk RTE melalui pengecualian oksigen untuk membatasi ketengikan oksidatif dan pembusukan mikrobiologis, dan saat ini merupakan teknologi pengemasan terkemuka yang digunakan dalam produk RTE. Kombinasi pasteurisasi, pemasakan *sous-vide*, pengemasan vakum, dan MAP secara sinergis memungkinkan produk telur RTE mempertahankan keamanan pangan, nilai gizi, dan kualitas sensori selama distribusi. Dari 93,1 miliar telur yang dikonsumsi pada tahun 2022, sebanyak 29,7% dalam bentuk produk telur olahan yang dilepas dari cangkangnya, dan industri *foodservice* berskala besar semakin intensif memanfaatkan produk telur cair pasteurisasi untuk memastikan keamanan dan konsistensi produk, terutama pada sajian yang tidak mengalami proses pemanasan lanjutan. Tren meningkatnya kebutuhan konsumen terhadap pangan

praktis, bergizi, dan tinggi protein telah menjadi pendorong utama pertumbuhan segmen RTE berbasis telur di pasar global yang kompetitif (Bhat *et al*., 2023).

Convenience food berbasis telur yang memanfaatkan telur cair pasteurisasi, telur beku, dan *egg powder* sebagai bahan baku utama terus mengalami ekspansi yang signifikan di berbagai segmen industri pangan. Produk telur cair siap pakai (*ready-to-use*) secara drastis mengurangi waktu persiapan, meningkatkan keamanan pangan melalui pasteurisasi, dan menawarkan kontrol porsi yang presisi; fitur-fitur ini bersifat esensial dalam lingkungan produksi bervolume tinggi seperti dapur industri, katering, dan jaringan *fast food*. Nilai pasar telur cair global mencapai USD 4,498 miliar pada tahun 2025 dan diproyeksikan tumbuh dengan CAGR sebesar 5,7% hingga mencapai USD 6,625 miliar pada tahun 2032, didorong oleh permintaan terhadap bahan baku siap pakai (*ready-to-use ingredients*), inovasi produk nilai tambah, dan pergeseran menuju sumber protein berkualitas tinggi. Produk telur olahan bernilai tambah seperti putih telur cair tinggi protein, formulasi kaya omega-3, dan campuran telur fungsional terstandar terus mendapatkan momentum di segmen nutrisi olahraga, layanan *meal kit*, dan *functional food*; sementara itu, bubuk telur kering dengan umur simpan panjang dan kelarutan yang ditingkatkan membuka peluang ekspor ke wilayah yang memiliki infrastruktur rantai dingin terbatas. Kemampuan produk telur olahan dalam mereduksi limbah cangkang, meningkatkan efisiensi tenaga kerja, serta menjamin konsistensi mutu antar-*batch* menjadikannya komponen strategis dalam sistem

produksi pangan modern yang mengutamakan keamanan, kepraktisan, dan efisiensi rantai pasok secara terpadu (Kralik *et al*., 2023).

5.7.4 Trend Clean Eat Label dan Industri Modern

Clean label merupakan tren pangan yang menekankan penggunaan bahan alami, daftar bahan yang sederhana, serta pengurangan bahan tambahan sintetis. Dalam konsep ini, telur menjadi bahan yang sangat penting karena secara alami memiliki berbagai fungsi teknologi, seperti emulsifier, pembentuk busa, agen gelasi, pengikat air, dan pembentuk struktur produk. Lesitin pada kuning telur berperan sebagai emulsifier alami yang dapat menggantikan emulsifier sintetis pada mayonnaise, saus, dan produk bakery, sedangkan protein telur berfungsi sebagai pengikat dan pembentuk tekstur pada produk daging olahan maupun pangan siap saji. Selain meningkatkan stabilitas emulsi dan tekstur, pemanfaatan telur juga mendukung pengembangan produk yang lebih alami dan mudah diterima konsumen. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa granula kuning telur (*egg yolk granules*) berpotensi digunakan sebagai emulsifier *clean label* untuk menstabilkan emulsi berkadar minyak tinggi, sehingga menjadi alternatif yang aman, ramah lingkungan, dan ekonomis dibandingkan bahan sintets (Suhag, 2024).

Industri pangan modern semakin mengombinasikan konsep clean label dengan teknologi pengolahan inovatif untuk menghasilkan produk telur yang aman, bergizi, dan stabil tanpa ketergantungan pada aditif sintetis. Teknologi non-termal seperti *high pressure*

processing (HPP), *pulsed electric field* (PEF), ultrasonikasi, dan *cold plasma* mampu mempertahankan nilai gizi, warna, tekstur, dan karakteristik sensori lebih baik dibandingkan pengolahan termal konvensional. Pada sistem protein telur, HPP terbukti dapat meningkatkan kekuatan gel, *water holding capacity* (WHC), serta menurunkan *cooking loss*, sehingga mendukung pengembangan produk rendah garam dan tinggi protein. Kombinasi teknologi modern dengan sifat fungsional telur memungkinkan produksi pangan yang lebih sehat, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan konsumen terhadap produk praktis, bernilai gizi tinggi, dan berlabel bersih (*clean label*) (Réhault-Godbert *et al*., 2019).

DAFTAR PUSTAKA

Abeyrathne, E. D. N. S., Lee, H. Y., & Ahn, D. U. (2013). Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science*, *92*(12), 3292–3299. https://doi.org/10.3382/ ps.2013-03391

Abeyrathne, E. D. N. S., Shu, D., Huang, X., & Ahn, D. U. (2025). The Key Egg White Proteins Involved in Foam Formation and Foam Stability. *Journal of Food Science*, *90*(7), e70419. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70419

Abu-Ghoush, M., Herald, T. J., & Aramouni, F. M. (2010). COMPARATIVE STUDY OF EGG WHITE PROTEIN AND EGG ALTERNATIVES USED IN AN ANGEL FOOD CAKE SYSTEM: EGG ALTERNATIVES IN ANGEL FOOD CAKE. *Journal of Food Processing and Preservation*, *34*, 411–425. https://doi.org/ 10.1111/j.1745-4549.2008.00284.x

Amertaningtyas, D. (2011). *Sifat Fisiko-Kimia Mayonnaise dengan Berbagai Tingkat Konsentrasi Minyak Nabati dan Kuning Telur Ayam Buras*.

Barba, F. J., Koubaa, M., Do Prado-Silva, L., Orlien, V., & Sant'Ana, A. D. S. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 20–35. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.011

Beitia, E., Silva, A., Mavros, G., Schilling, F., Guo, X., Mallouchos, A., Heinz, V., Rocha, C., Lima, R. C., Frickhofen, D.,

Proestos, C., Methven, L., Valdramidis, V., Cunha, L. M., & Aganovic, K. (2025). Sensory analysis of omelette made from liquid whole egg pasteurised by manothermosonication: Unravelling texture and flavour attributes. *Future Foods*, *11*, 100634. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100634

Bermudez-Aguirre, D., & Niemira, B. A. (2023). A review on egg pasteurization and disinfection: Traditional and novel processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(2), 756–784. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13088

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Bhat, H. F., Kumar, S., Aadil, R. M., & Bekhit, A. E.-D. A. (2023). Emerging technologies for processing egg and egg products. In *Processing Technologies and Food Protein Digestion* (pp. 135–174). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B 978-0-323-95052-7.00013-3

Cano, P. W., Tondo, E. C., & Malheiros, P. D. S. (2026). *Salmonella* Inactivation During the Preparation of Omelets, Poached Eggs, and Scrambled Eggs. *Journal of Food Safety*, *46*(1), e70053. https://doi.org/10.1111/jfs.70053

Deak, T. (2014). Thermal Treatment. In *Food Safety Management* (pp. 423–442). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381504-0.00017-2

Evenepoel, P., Geypens, B., Luypaerts, A., Hiele, M., Ghoos, Y., & Rutgeerts, P. (1998). Digestibility of Cooked and Raw Egg Protein in Humans as Assessed by Stable Isotope

Techniques. *The Journal of Nutrition*, *128*(10), 1716–1722. https:// doi.org/10.1093/jn/128.10.1716

Fj, T., U, S., W, R., C, K., Ym, S., & W, C. (2023). Effect of Cold Chain on Chicken Egg Quality in a Simulated Post Washing Processing and Consumer Storage Model. *Brazilian Journal of Poultry Science*, *25*(3), eRBCA-2021-1598. https://doi.org/10.1590/ 1806-9061-2021-1598

Fraeye, I., Bruneel, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K., & Foubert, I. (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, *48*(2), 961–969. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.014

Garcia, J. S., Gast, R. K., Read, Q. D., & Jones, D. R. (2026). The impact of egg handling and storage temperature on shell eggs stored for 27 weeks: Egg quality. *Poultry Science*, *105*(2), 106264. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.106264

Ghoshal, G. (2023). Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: Gaps in current studies for potential future research. *Heliyon*, *9*(6), e17532. https://doi.org/10.1016/ j.heliyon.2023.e17532

Hakim, E. A., Kusfriyadi, M. K., & Sera, A. C. (2019). PENGARUH SUMBER TANNIN TERHADAP KADAR PROTEIN DAN DAYA SIMPAN TELUR PINDANG. *JURNAL RISET GIZI*, *7*(2), 97–102. https://doi.org/10.31983/jrg.v7i2.4695

Ikusika, O. O., Dwakasa, H., Luphuzi, S., Akinmoladun, O. F., & Mpendulo, C. T. (2025). Assessment of Egg Quality Across Seasons, Storage Durations, and Temperatures

in Commercial Laying Hens. *Applied Sciences*, *15*(19), 10344. https://doi.org/10.3390/app151910344

Javed, A., King, A. J., Imran, M., Jeoh, T., & Naseem, S. (2019). Omega-3 supplementation for enhancement of egg functional properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(8). https://doi.org/10.1111/jfpp.14052

Jones, D. R., Ward, G. E., Regmi, P., & Karcher, D. M. (2018). Impact of egg handling and conditions during extended storage on egg quality. *Poultry Science*, *97*(2), 716–723. https://doi.org/10.3382/ps/pex351

Kaewmanee, T., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2009). Effect of salting processes on chemical composition, textural properties and microstructure of duck egg. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *89*(4), 625–633. https://doi.org/10.1002/jsfa.3492

Khalifa, I., Li, Z., Nawaz, A., Walayat, N., Sobhy, R., Jia, Y., Korin, A., Zou, X., & Maqsood, S. (2025a). Recent innovations for improving the techno-functional properties of plant-based egg analogs and egg-mimicking products to promote their industrialization and commercialization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(1), e70086. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70086

Khansa Nabilah, Efrina, & Ridawati. (2026). Pengaruh Teknik Pemasakan Terhadap Umur Simpan Dan Mutu Sensori Telur Berbumbu. *Jurnal Sains Dan Teknologi Pangan*, *11*(1). https://doi.org/10.63071/mrcjtm06

Kralik, Z., Kralik, G., Košević, M., Galović, O., & Samardžić, M. (2023). Natural Multi-Enriched Eggs with n-3 Polyunsaturated Fatty Acids, Selenium, Vitamin E, and Lutein. *Animals*, *13*(2), 321. https://doi.org/ 10.3390/ani13020321

Li, C., Gao, J., Guo, S., He, B., & Ma, W. (2023). Effects of Curcumin on the Egg Quality and Hepatic Lipid Metabolism of Laying Hens. *Animals*, *14*(1), 138. https://doi.org/10.3390/ ani14010138

Li, J., Wang, X., Chang, C., Gu, L., Su, Y., Yang, Y., Agyei, D., & Han, Q. (2024). Chicken Egg White Gels: Fabrication, Modification, and Applications in Foods and Oral Nutraceutical Delivery. *Foods*, *13*(12), 1834. https://doi.org/10.3390/foods 13121834

Li, X., Wang, Y.-M., Sun, C.-F., Lv, J.-H., & Yang, Y.-J. (2021). Comparative Study on Foaming Properties of Egg White with Yolk Fractions and Their Hydrolysates. *Foods*, *10*(9), 2238. https://doi.org/10.3390/foods10092238

Li, Y., Wang, H., Zhao, Y., Chen, Q., Xia, X., Liu, Q., & Kong, B. (2024). Evaluation of the Emulsifying Property and Oxidative Stability of Myofibrillar Protein-Diacylglycerol Emulsions Containing Catechin Subjected to Different pH Values. *Foods*, *13*(2), 253. https://doi.org/10.3390/ foods13020253

Lv, X., Huang, X., Ma, B., Chen, Y., Batool, Z., Fu, X., & Jin, Y. (2022). Modification methods and applications of egg protein gel properties: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(3), 2233–2252. https://doi.org/ 10.1111/1541-4337.12907

Ma, Y., Liu, Z., Yang, X., Zhang, H., Xing, Y., Gao, X., & Liu, Y. (2026). Advances in the formation mechanism, influencing factors and improvement methods of the foaming properties of egg white proteins: A review. *Food Hydrocolloids*, *173*, 112300. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd. 2025.11 2300

McClements, D.J., E.A. Decker and J. Weiss. 2007. Emulsion based Delivery System for Lipophilic Bioactive Components. Journal of Food Science. 72(8). R109-R124.

Puertas, G., & Vázquez, M. (2021). Evaluation of the composition and functional properties of whole egg plasma obtained by centrifugation. *International Journal of Food Science & Technology*, *56*(10), 5268–5276. https://doi.org/10.1111/ ijfs.15124

Razi, S. M., Fahim, H., Amirabadi, S., & Rashidinejad, A. (2023a). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, *135*, 108183. https://doi.org/10.1016/ j.foodhyd. 2022.108183

Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*, *11*(3), 684. https://doi.org/ 10.3390/nu11030684

Silva, H. D., Cerqueira, M. Â., & Vicente, A. A. (2012). Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(3), 854–867. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0683-7

Silva Neto, P. A. D., Costa, B. L. D., Oliveira, M. C. D., Chaves, M. J. L., Mendes, L. G., & Monte, A. L. D. S. (2024). Parameters for the evaluation of egg quality: A systematic review. *Nutrivisa - Revista de Nutrição e Vigilância Em Saúde*, *11*(1), e12781. https://doi.org/10.59171/nutrivisa-2024v11e12781

Suhag, R. (2024). Egg Yolk, a Multifunctional Emulsifier: New Insights on Factors Influencing and Mechanistic Pathways in Egg Yolk Emulsification. *Applied Sciences*, *14*(21), 9692. https://doi.org/10.3390/app14219692

Sun, Y., Yang, Y., Jin, H., Zhang, Y., Ali, S., & Sheng, L. (2025). Ultrasound-assisted pH-shifting treatment: Effects on egg yolk protein interfacial adsorption and emulsification properties. *Food Chemistry*, *482*, 144172. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144172

Tian, Y., Lv, X., Oh, D., Kassem, J. M., Salama, M., & Fu, X. (2024). Emulsifying properties of egg proteins: Influencing factors, modification techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *23*(5), e70004. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70004

Van Der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. E. (2007). Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment. *Journal of Food Engineering*, *78*(4), 1410–1426. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng .2006.01.013

Xu, R., Gao, Q., Li, J., Su, Y., Gu, L., Yang, Y., & Chang, C. (2024). Characterization of liquid egg yolks hydrolyzed by phospholipase: Structure, thermal stability and emulsification properties. *Food Research International*, *198*, 115325. https://doi.org/10.1016/j.foodres. 2024.115325

Yang, X., Bist, R. B., Subedi, S., & Chai, L. (2023). A Computer Vision-Based Automatic System for Egg Grading and Defect Detection. *Animals*, *13*(14), 2354. https://doi.org/10.3390/ ani13142354

Ye, Y., Gou, X., Jia, G., Xiang, J., Li, A., & Wang, Y. (2025). Improving the water-holding and gelation properties of egg white by glycosylation and alkaline heating. *International Journal of Food Properties*, *28*(1), 2471969. https://doi.org/ 10.1080/ 10942912.2025.2471969

Yuan, J., Lin, S., Liu, K., Guo, F., & Bao, Z. (2025). Effect of Low-Density Lipoprotein (LDL) and High-Density Lipoprotein (HDL) on Frozen Gelation of Egg Yolk. *Foods*, *14*(3), 522. https://doi.org/10.3390/foods14030522

Zang, J., Zhang, Y., Pan, X., Peng, D., Tu, Y., Chen, J., Zhang, Q., Tang, D., & Yin, Z. (2023). Advances in the formation mechanism, influencing factors and applications of egg white gels: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *138*, 417–432. https://doi.org/10.1016/j .tifs.2023. 06.025

BAB 6
TEKNOLOGI PENGOLAHAN KULIT, BULU DAN BY-PRODUCT TERNAK

6.1 Teknologi Pegolahan Kulit Bulu dan By-Product Ternak sebagai Pilar Penting dalam Pengembangan Bioindustri Peternakan Modern

Industri peternakan modern berkembang menuju sistem bioindustri terpadu yang tidak hanya berorientasi pada produksi utama seperti daging, susu, dan telur, tetapi juga pada pemanfaatan hasil samping (by-product) ternak secara menyeluruh. Dalam pendekatan ini, kulit, bulu, darah, tulang, lemak, dan organ non-karkas tidak lagi dipandang sebagai limbah, melainkan sebagai biomassa biologis yang mengandung senyawa bernilai tinggi seperti kolagen, keratin, elastin, lipid, mineral, dan berbagai komponen bioaktif lainnya. Senyawa-senyawa tersebut memiliki potensi luas untuk dimanfaatkan pada industri pangan, farmasi, kosmetik, biomaterial, energi, dan pakan.

Pemanfaatan by-product ternak memberikan dua keuntungan utama, yaitu peningkatan nilai ekonomi dan pengurangan dampak lingkungan. Secara kuantitatif, hasil samping pemotongan ternak mencapai proporsi yang besar terhadap bobot hidup ternak. Pada sapi, sekitar 35–50% bobot hidup tergolong komponen non-karkas, sedangkan pada unggas proporsinya dapat mencapai 25–35%(Toldrá *et al*., 2016). Jika tidak dikelola secara tepat, akumulasi limbah organik tersebut dapat meningkatkan biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), emisi gas rumah kaca, serta pencemaran tanah dan air. Oleh karena itu, pengembangan teknologi pengolahan by-product menjadi bagian penting dalam sistem peternakan berkelanjutan.

Konsep zero waste livestock production berkembang sebagai pendekatan strategis untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan biomassa ternak. Prinsip ini sejalan dengan circular economy yang menekankan reduce, reuse, recycle, dan recovery sehingga residu dari suatu proses dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku proses lain(Geissdoerfer *et al*., 2017). Dalam konteks peternakan, pendekatan tersebut memungkinkan optimalisasi seluruh komponen biologis ternak menjadi produk bernilai tambah tinggi sekaligus menekan volume limbah organik.

Sebagian besar by-product ternak tersusun atas makromolekul biologis dengan karakteristik fungsional spesifik. Kulit dan tulang kaya akan kolagen tipe I yang dapat diolah menjadi gelatin, biomaterial, dan peptida bioaktif. Bulu dan wool mengandung keratin dengan stabilitas tinggi akibat banyaknya ikatan disulfida, sedangkan darah mengandung protein fungsional seperti hemoglobin, albumin, dan globulin yang berpotensi dimanfaatkan dalam industri pangan dan

farmasi. Pemanfaatan berbagai biomolekul tersebut memerlukan pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan ilmu peternakan, biokimia, mikrobiologi, teknik proses, dan bioteknologi.

Perkembangan teknologi pengolahan hasil samping menunjukkan bahwa masa depan industri peternakan tidak hanya ditentukan oleh produksi komoditas utama, tetapi juga oleh kemampuan mengonversi biomassa non-karkas menjadi produk fungsional bernilai ekonomi tinggi. Dengan demikian, pengolahan by-product ternak menjadi salah satu pilar penting dalam pengembangan bioindustri peternakan modern yang efisien, berkelanjutan, dan berbasis biomaterial.

6.2 Klasifikasi *By-Product* Ternak

By-product ternak dapat diklasifikasikan berdasarkan asal anatomi, karakteristik biologis, komposisi kimia, tingkat edibilitas, dan potensi aplikasinya. Klasifikasi ini penting untuk menentukan metode pengolahan, efisiensi ekstraksi biomolekul, serta arah pemanfaatan industri yang sesuai. Dalam industri modern, pendekatan klasifikasi juga mendukung penerapan konsep circular economy melalui optimalisasi penggunaan biomassa ternak secara menyeluruh.

Secara umum, by-product meliputi kulit, bulu, darah, tulang, lemak, organ non-karkas, serta limbah rumah potong hewan. Masing-masing bahan memiliki karakteristik biokimia yang berbeda sehingga memerlukan teknologi pengolahan yang spesifik.

6.2.1 Kulit (Hide and Skin)

Kulit merupakan salah satu by-product dengan nilai ekonomi tertinggi karena kaya kolagen dan memiliki sifat mekanik yang baik. Berdasarkan ukuran dan ketebalannya, kulit dibedakan menjadi hide dan skin. Hide berasal dari ternak berukuran besar seperti sapi dan kerbau, sedangkan skin berasal dari kambing, domba, babi, dan unggas.

Hide memiliki struktur dermis tebal dengan kandungan kolagen tipe I yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan dalam industri penyamakan kulit, produksi gelatin, dan biomaterial medis (Schrieber & Gareis, 2007). Sebaliknya, skin memiliki struktur lebih tipis dan fleksibel sehingga lebih mudah diproses menjadi gelatin, edible film, dan produk kulit ringan. Kulit unggas juga berpotensi sebagai sumber gelatin halal dengan sifat emulsifikasi dan pembentukan gel yang baik.

6.2.2 Feather, Hair, dan Wool

Kelompok by-product berbasis keratin meliputi bulu unggas, rambut, dan wool. Ketiganya memiliki kandungan protein keratin tinggi dengan stabilitas biologis besar akibat banyaknya ikatan disulfida antar residu sistein. Bulu unggas mengandung sekitar 85–90% β-keratin sehingga sangat resisten terhadap degradasi biologis. Oleh karena itu, pengolahannya memerlukan hidrolisis kimia, termal, atau enzimatik menggunakan keratinase (Wang *et al*., 2016). Produk turunannya meliputi feather meal, pupuk organik, biomaterial biodegradable, dan adsorben biologis.

Rambut ternak memiliki struktur α-keratin yang lebih fleksibel dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pupuk

organik, karbon aktif, serta material penyerap polutan. Sementara itu, wool merupakan biomaterial tekstil alami dengan elastisitas dan kemampuan insulasi termal yang tinggi. Selain digunakan pada industri tekstil, keratin wool mulai dikembangkan sebagai scaffold biomaterial karena memiliki sifat biokompatibel dan biodegradable.

6.2.3 Darah

Darah merupakan hasil samping dengan kandungan protein sangat tinggi, terutama hemoglobin, albumin, globulin, dan fibrinogen. Plasma darah memiliki sifat emulsifikasi dan pengikatan air yang baik sehingga dimanfaatkan sebagai binder pada produk pangan olahan. Selain itu, hidrolisis protein darah dapat menghasilkan peptida bioaktif dengan aktivitas antioksidan, antihipertensi, dan antimikroba (Bah *et al*., 2013).

Meskipun bernilai tinggi, darah juga memiliki BOD dan COD yang sangat besar sehingga pengolahannya menjadi aspek penting dalam sistem zero waste livestock production.

6.2.4 Tulang

Tulang merupakan biomaterial komposit alami yang tersusun atas kolagen tipe I dan mineral hidroksiapatit. Kombinasi tersebut memberikan kekuatan tarik dan tekan yang tinggi. Dalam industri, tulang dimanfaatkan untuk produksi gelatin, tepung tulang, suplemen mineral, dan biomaterial ortopedi (Shoulders & Raines, 2009)

Hidroksiapatit biologis dari tulang memiliki biokompatibilitas tinggi sehingga banyak digunakan sebagai bone graft, scaffold jaringan tulang, dan biomaterial kedokteran gigi.

6.2.5 Lemak Hewani

Lemak hewani terdiri atas trigliserida dengan komposisi asam lemak yang dipengaruhi oleh spesies ternak dan sistem pakan. Berdasarkan sumbernya, lemak diklasifikasikan menjadi tallow, lard, dan poultry fat. Lemak hewani digunakan dalam industri pangan, kosmetik, dan bioenergi (Gunstone, 2004)

Teknologi rendering memungkinkan pemisahan lemak dari jaringan hewan, sedangkan proses transesterifikasi digunakan untuk mengubah trigliserida menjadi biodiesel. Pemanfaatan lemak hewani sebagai sumber bioenergi mendukung pengembangan energi terbarukan dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Knothe *et al*., 2005)

6.2.6 Organ Non-Karkas dan Limbah RPH

Organ non-karkas meliputi hati, ginjal, jantung, paru-paru, limpa, dan saluran pencernaan. Sebagian organ memiliki nilai nutrisi tinggi karena kaya vitamin, mineral, dan protein bioaktif. Selain untuk pangan, organ tertentu dimanfaatkan sebagai sumber bahan farmasi, media fermentasi, pakan, dan pupuk organik.

Limbah rumah potong hewan terdiri atas limbah padat dan cair. Limbah padat seperti isi rumen dan jaringan trimming dapat diolah menjadi kompos atau biogas, sedangkan limbah cair memerlukan pengolahan khusus melalui anaerobic digestion, biofilter, membrane filtration, atau constructed wetland untuk menurunkan pencemaran lingkungan (Toldrá *et al*., 2016)

6.3 Teknologi Pengolahan Kulit

Kulit merupakan salah satu by-product ternak dengan nilai ekonomi tertinggi karena mengandung kolagen dalam jumlah besar dan memiliki struktur mekanik yang kompleks. Pengolahan kulit bertujuan mengubah jaringan biologis yang mudah mengalami pembusukan menjadi material stabil dengan karakteristik fisik, kimia, dan biologis tertentu. Selain untuk industri kulit tersamak, pengolahan kulit juga berkembang untuk produksi gelatin, kolagen, biomaterial regeneratif, dan berbagai produk bioaktif bernilai tinggi.

Secara umum, teknologi pengolahan kulit melibatkan tahapan pretreatment, ekstraksi biomolekul, penyamakan, serta modifikasi lanjutan untuk memperoleh karakteristik produk yang diinginkan. Efektivitas proses sangat dipengaruhi oleh struktur kolagen, tingkat cross-link intermolekuler, kondisi kimia proses, serta parameter termal selama pengolahan.

6.3.1 Pretreatment Kulit

Pretreatment merupakan tahap awal yang bertujuan membersihkan kulit dan membuka struktur matriks kolagen agar lebih mudah diproses pada tahap berikutnya. Tahapan ini meliputi soaking, liming, dehairing, deliming, dan bating. Soaking dilakukan untuk menghidrasi kembali kulit dan menghilangkan kotoran, darah, garam, serta protein larut air.

Proses ini meningkatkan kelembapan jaringan sehingga penetrasi bahan kimia menjadi lebih efektif. Setelah itu dilakukan liming menggunakan kalsium hidroksida dan

natrium sulfida untuk menghilangkan rambut serta membuka struktur serat kolagen(Covington & Wise, 2019).

Pada tahap dehairing, ikatan disulfida keratin rambut mengalami pemutusan sehingga bulu terlepas dari permukaan kulit. Proses ini sangat penting karena keberadaan keratin dapat menghambat penetrasi agen penyamak maupun efisiensi ekstraksi kolagen (Kanagaraj *et al*., 2006). Selanjutnya dilakukan deliming untuk menurunkan alkalinitas kulit dan bating menggunakan enzim protease guna menghilangkan protein non-kolagen.

Pretreatment yang optimal meningkatkan swelling fibril kolagen tanpa merusak integritas struktur protein utama. Sebaliknya, perlakuan yang terlalu ekstrem dapat menyebabkan degradasi kolagen dan menurunkan kualitas produk akhir(Schrieber & Gareis, 2007).

6.3.2 Ekstraksi Kolagen dan Gelatin

Ekstraksi kolagen dan gelatin bertujuan mengubah kolagen fibriler yang tidak larut menjadi protein terlarut dengan karakteristik fungsional tertentu. Proses ini didasarkan pada pengendalian denaturasi struktur kolagen melalui kombinasi perlakuan kimia, termal, maupun enzimatik (Shoulders & Raines, 2009).

Pada produksi kolagen larut, kondisi ekstraksi dijaga relatif ringan agar struktur triple helix tetap dipertahankan. Sebaliknya, produksi gelatin melibatkan denaturasi parsial sehingga struktur heliks berubah menjadi rantai acak yang larut dalam air panas. Transformasi struktur tersebut sangat menentukan sifat reologi, viskositas, dan kekuatan gel produk yang dihasilkan (D. Liu *et al*., 2012; Schrieber & Gareis, 2007).

Tahap ekstraksi biasanya diawali dengan perlakuan asam, basa, atau enzim untuk memutus sebagian cross-link intermolekuler dan meningkatkan swelling serat kolagen. Setelah itu dilakukan pemanasan pada suhu tertentu untuk mempercepat pelepasan protein dari matriks dermis. Suhu ekstraksi umumnya berada pada kisaran 45–70°C tergantung jenis bahan baku dan metode yang digunakan (A. A. Karim & Bhat, 2009).

Kontrol suhu menjadi faktor penting karena pemanasan berlebihan dapat menyebabkan depolimerisasi rantai protein dan menurunkan kualitas gelatin. Sebaliknya, suhu terlalu rendah menghasilkan rendemen ekstraksi yang tidak optimal. Oleh karena itu, keseimbangan antara rendemen dan integritas molekuler protein menjadi aspek utama dalam desain proses ekstraksi (Muyonga *et al*., 2004).
Karakterisasi kolagen dan gelatin umumnya dilakukan menggunakan FTIR untuk mengevaluasi perubahan struktur sekunder protein, SDS-PAGE untuk menentukan distribusi berat molekul, DSC untuk mengukur stabilitas termal, serta SEM untuk mengamati morfologi material. Kombinasi analisis tersebut memberikan gambaran hubungan antara struktur molekuler dan performa fungsional produk (Jeevithan *et al*., 2014).

Kolagen dan gelatin hasil ekstraksi memiliki aplikasi luas pada industri pangan, farmasi, kosmetik, dan biomaterial. Gelatin digunakan sebagai gelling agent, emulsifier, edible film, dan bahan kapsul farmasi, sedangkan kolagen banyak dimanfaatkan pada wound dressing, scaffold rekayasa jaringan, serta biomaterial regeneratif karena sifat biokompatibel dan bioaktifnya (Gómez-Guillén *et al*., 2011; D. Liu *et al*., 2015).

6.3.3 Hidrolisis Asam dan Basa

Hidrolisis asam dan basa merupakan metode konvensional utama dalam produksi gelatin. Kedua metode tersebut bertujuan memutus struktur kompleks kolagen sehingga protein lebih mudah larut selama ekstraksi termal. Meskipun memiliki prinsip dasar yang sama, kondisi kimia yang berbeda menghasilkan karakteristik gelatin yang berbeda pula (Schrieber & Gareis, 2007).

Hidrolisis asam dilakukan menggunakan asam organik maupun anorganik seperti asam asetat, asam sitrat, dan asam klorida. Kondisi asam menyebabkan protonasi gugus karboksilat kolagen sehingga ikatan intermolekuler melemah dan fibril mengalami swelling. Proses ini meningkatkan penetrasi air dan mempercepat denaturasi selama pemanasan (Shoulders & Raines, 2009).

Metode asam umumnya digunakan pada kulit hewan muda karena tingkat cross-link kolagennya relatif rendah. Gelatin yang dihasilkan dikenal sebagai gelatin tipe A dengan titik isoelektrik berkisar pH 7–9 serta karakteristik warna lebih terang dan kekuatan gel yang baik apabila proses berlangsung optimal (Schrieber & Gareis, 2007).

Sebaliknya, hidrolisis basa menggunakan larutan alkali seperti natrium hidroksida atau kalsium hidroksida dalam waktu proses lebih lama. Perlakuan alkali efektif memutus cross-link kovalen kompleks yang banyak ditemukan pada kulit tua dan tulang dengan tingkat maturasi kolagen tinggi. Gelatin yang dihasilkan disebut gelatin tipe B dan memiliki titik isoelektrik lebih rendah, yaitu sekitar pH 4,8–5,2 (Schrieber & Gareis, 2007; Shoulders & Raines, 2009).

Meskipun mampu meningkatkan rendemen, perlakuan alkali yang terlalu kuat dapat menyebabkan depolimerisasi protein dan degradasi beberapa asam amino. Kondisi tersebut menurunkan viskositas serta kemampuan pembentukan gel. Oleh karena itu, optimasi pH, suhu, dan waktu proses menjadi faktor penting untuk memperoleh keseimbangan antara rendemen dan kualitas produk (A. A. , Karim & Bhat, 2008; Muyonga *et al*., 2004).

6.3.4 Faktor yang Memengaruhi Rendemen dan Kualitas Gelatin

Rendemen dan kualitas gelatin dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara karakteristik bahan baku, struktur kolagen, kondisi pretreatment, serta parameter ekstraksi. Variasi kecil pada kondisi proses dapat menyebabkan perubahan signifikan terhadap sifat fisikokimia gelatin.

Jenis dan umur hewan merupakan faktor utama karena menentukan tingkat cross-link kolagen. Kulit hewan muda umumnya lebih mudah diekstraksi sehingga menghasilkan rendemen lebih tinggi, sedangkan kolagen hewan tua lebih stabil namun memerlukan perlakuan kimia lebih intensif.

Komposisi asam amino, terutama kandungan prolin dan hidroksiprolin, juga memengaruhi kekuatan gel dan stabilitas termal gelatin. Gelatin mamalia umumnya memiliki kandungan hidroksiprolin lebih tinggi dibanding gelatin ikan tropis sehingga menghasilkan kekuatan gel lebih baik (A. A. , Karim & Bhat, 2008).

Suhu dan waktu ekstraksi menjadi parameter kritis dalam proses produksi. Peningkatan suhu dapat mempercepat denaturasi kolagen dan meningkatkan rendemen, tetapi suhu terlalu tinggi menyebabkan

fragmentasi protein. Demikian pula, waktu ekstraksi yang terlalu lama dapat menurunkan viskositas dan stabilitas reologi gelatin akibat degradasi lanjutan rantai polipeptida (Muyonga *et al*., 2004).

Nilai pH selama proses juga memengaruhi kelarutan dan stabilitas protein melalui perubahan muatan gugus fungsional. Selain itu, keberadaan mineral, lemak, dan protein non-kolagen dalam bahan baku dapat memengaruhi warna, kemurnian, dan performa fungsional gelatin.

Dalam aplikasi industri, karakteristik gelatin menentukan arah penggunaannya. Gelatin dengan kekuatan gel tinggi lebih sesuai untuk confectionery dan kapsul farmasi, sedangkan gelatin dengan berat molekul lebih rendah banyak dimanfaatkan sebagai peptida kolagen pada nutraceutical, kosmetik, dan biomaterial regeneratif (Gómez-Guillén *et al*., 2011).

6.3.5 Tanning Process

Penyamakan (tanning) merupakan tahap fundamental dalam pengolahan kulit yang bertujuan mengubah kulit mentah yang mudah mengalami degradasi menjadi material stabil dengan ketahanan fisik, kimia, biologis, dan termal yang lebih baik. Proses ini bekerja melalui pembentukan cross-link baru antara agen penyamak dan gugus fungsional kolagen sehingga struktur fibriler menjadi lebih stabil terhadap panas, air, serta aktivitas mikroba dan enzimatik (Covington & Wise, 2019).

Secara struktural, kolagen pada kulit memiliki konfigurasi triple helix yang distabilkan oleh ikatan hidrogen dan cross-link alami. Meskipun memberikan kekuatan mekanik tinggi, struktur tersebut masih rentan terhadap

pembusukan biologis. Oleh karena itu, tanning tidak hanya berfungsi sebagai proses pengawetan, tetapi juga sebagai rekayasa biomolekuler untuk meningkatkan performa material kulit.

Keberhasilan proses tanning umumnya ditunjukkan oleh peningkatan shrinkage temperature atau suhu penyusutan kolagen. Kulit mentah memiliki suhu penyusutan sekitar 60–65°C, sedangkan kulit tersamak dapat mencapai lebih dari 100°C tergantung jenis agen penyamak yang digunakan (Covington & Wise, 2019). Peningkatan tersebut menunjukkan terbentuknya stabilisasi intermolekuler baru pada matriks kolagen.

Tahap awal tanning biasanya diawali dengan pickling, yaitu penurunan pH kulit menggunakan asam dan garam. Kondisi asam menyebabkan protonasi gugus amino kolagen sehingga struktur serat menjadi lebih terbuka dan mempermudah difusi agen penyamak ke dalam jaringan dermis. Kontrol swelling pada tahap ini sangat penting karena pembengkakan berlebihan dapat merusak orientasi fibril kolagen dan menurunkan kualitas mekanik kulit.

Setelah penetrasi agen penyamak berlangsung, tahap berikutnya adalah fiksasi, yaitu pembentukan ikatan permanen antara bahan penyamak dan kolagen. Selanjutnya dilakukan basifikasi atau netralisasi untuk menstabilkan sistem dan meningkatkan efisiensi pembentukan cross-link. Pada industri modern, proses post-tanning seperti retanning, fatliquoring, pewarnaan, dan finishing dilakukan untuk meningkatkan fleksibilitas, kelembutan, ketahanan air, serta karakter estetika produk kulit (Kanagaraj *et al*., 2006).

Perubahan struktur kolagen selama tanning dapat dianalisis menggunakan FTIR dan DSC. FTIR digunakan untuk

mengamati perubahan gugus fungsional akibat interaksi agen penyamak dengan protein, sedangkan DSC digunakan untuk mengevaluasi peningkatan stabilitas termal kolagen setelah proses penyamakan.

6.3.6 Chrome Tanning

Chrome tanning merupakan metode penyamakan paling dominan dalam industri kulit modern karena mampu menghasilkan kulit dengan fleksibilitas tinggi, stabilitas termal baik, dan karakteristik mekanik unggul. Sebagian besar industri kulit dunia masih menggunakan garam kromium trivalen, terutama basic chromium sulfate, sebagai agen penyamak utama(Covington & Wise, 2019).

Mekanisme chrome tanning melibatkan pembentukan ikatan koordinasi antara ion kromium trivalen dan gugus karboksilat pada residu asam glutamat maupun asam aspartat kolagen. Pada tahap pickling, kompleks kromium berdifusi ke dalam matriks kolagen melalui ruang interfibriler. Selanjutnya, selama proses basifikasi, terbentuk kompleks polinuklear kromium melalui reaksi olasi dan oksolasi yang meningkatkan kemampuan cross-link antar fibril kolagen (Sreeram & Ramasami, 2003).

Pembentukan ikatan koordinasi tersebut menyebabkan stabilitas hidrotermal kulit meningkat secara signifikan dengan shrinkage temperature mencapai sekitar 100–110°C (Covington & Wise, 2019). Stabilitas tinggi inilah yang menjadikan chrome tanning banyak digunakan untuk produk dengan tuntutan mekanik besar seperti sepatu, tas, upholstery, dan produk kulit industri lainnya .

Kulit hasil chrome tanning memiliki karakteristik lunak, elastis, tahan air, dan mudah diwarnai. Selain itu, warna

dasar kulit yang relatif terang memberikan fleksibilitas tinggi dalam proses finishing dan pewarnaan.

Meskipun memiliki keunggulan teknis, penggunaan kromium menimbulkan tantangan lingkungan yang serius. Limbah kromium yang tidak dikelola dengan baik dapat mengalami oksidasi menjadi kromium heksavalen [Cr(VI)] yang bersifat toksik dan karsinogenik (Kanagaraj *et al*., 2006). Oleh karena itu, industri modern mulai menerapkan teknologi chrome recovery seperti presipitasi alkali, membran filtrasi, dan closed-loop tanning system untuk mengurangi pencemaran sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan kromium (Buljan *et al*., 2011).

Dalam perspektif biomaterial, residu kromium membatasi penggunaan kulit tersamak pada aplikasi pangan dan biomedis. Kondisi ini mendorong pengembangan metode penyamakan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan kompatibel dengan sistem biologis (Thanikaivelan *et al*., 2004).

6.3.7 Vegetable Tanning

Vegetable tanning merupakan metode penyamakan berbasis bahan alami yang menggunakan senyawa tanin dari tumbuhan seperti mimosa, quebracho, chestnut, tara, dan gambir. Metode ini merupakan salah satu teknologi penyamakan tertua dan kembali mendapat perhatian seiring meningkatnya tuntutan terhadap industri yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan(Covington & Wise, 2019).

Berbeda dengan chrome tanning yang membentuk ikatan koordinasi, vegetable tanning bekerja melalui pembentukan ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan

interaksi elektrostatik antara gugus fenolik tanin dan gugus fungsional kolagen. Interaksi tersebut menghasilkan jaringan intermolekuler yang meningkatkan stabilitas kolagen terhadap degradasi biologis dan termal.

Tanin dibedakan menjadi hydrolyzable tannin dan condensed tannin. Hydrolyzable tannin tersusun atas ester asam galat atau ellagic acid yang mudah mengalami hidrolisis, sedangkan condensed tannin tersusun atas polimer flavonoid dengan stabilitas lebih tinggi. Perbedaan struktur kimia tanin memengaruhi kecepatan penetrasi, warna, dan sifat mekanik kulit yang dihasilkan (Angenot, 1990).

Proses vegetable tanning berlangsung lebih lambat dibanding chrome tanning karena ukuran molekul tanin relatif besar sehingga difusinya ke dalam matriks kolagen berlangsung bertahap. Namun, proses tersebut menghasilkan karakteristik kulit yang khas, yaitu tekstur lebih padat, warna alami kecokelatan, dan kemampuan molding yang baik. Oleh karena itu, kulit hasil vegetable tanning banyak digunakan pada produk artisan seperti sabuk, dompet, sol sepatu, dan leather craft premium.

Selain menghasilkan karakter estetika alami, vegetable tanning memiliki keunggulan dari aspek keberlanjutan karena menggunakan bahan baku terbarukan dan menghasilkan limbah toksik lebih rendah dibanding penyamakan kromium (Thanikaivelan *et al*., 2004). Pendekatan ini semakin relevan dalam pengembangan eco-leather dan biomaterial berbasis kolagen alami.

6.3.8 Green Technology dalam Pengolahan Kulit

Industri pengolahan kulit dikenal sebagai salah satu sektor dengan beban pencemaran tinggi akibat penggunaan

sulfida, kromium, garam, surfaktan, dan berbagai senyawa organik dalam jumlah besar. Limbah cair industri penyamakan umumnya memiliki nilai BOD, COD, total dissolved solids, serta kandungan logam berat yang tinggi sehingga memerlukan pengolahan khusus sebelum dibuang ke lingkungan (Kanagaraj *et al*., 2006).

Perkembangan green technology muncul sebagai respons terhadap meningkatnya tuntutan keberlanjutan industri. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada pengurangan pencemaran, tetapi juga pada efisiensi penggunaan air, energi, dan bahan kimia selama proses pengolahan kulit.

Salah satu strategi utama adalah penerapan cleaner production melalui minimisasi limbah sejak sumber proses. Pendekatan ini dilakukan melalui optimasi formulasi bahan kimia, penggunaan sistem resirkulasi air, serta penerapan teknologi pemisahan seperti membran filtrasi dan reverse osmosis. Teknologi tersebut mampu menurunkan konsumsi air dan emisi limbah secara signifikan.

Pada proses dehairing, penggunaan natrium sulfida mulai dikurangi karena menghasilkan gas hidrogen sulfida yang bersifat toksik dan korosif. Sebagai alternatif, dikembangkan teknologi low-sulfide dan sulfide-free dehairing menggunakan kombinasi enzim protease, oksidator ringan, dan senyawa organik tertentu. Pendekatan ini mampu mengurangi pencemaran tanpa menurunkan kualitas kolagen (Thanikaivelan *et al*., 2004).

Pengembangan green technology juga melibatkan penggunaan bio-based chemicals seperti biosurfaktan, biopolimer, ionic liquids, dan deep eutectic solvents sebagai pengganti bahan kimia konvensional. Selain lebih ramah

lingkungan, beberapa pelarut hijau memiliki selektivitas tinggi terhadap protein sehingga dapat meningkatkan kualitas biomaterial kolagen yang dihasilkan .

Dalam industri modern, keberhasilan pengolahan kulit tidak lagi hanya diukur dari kualitas produk akhir, tetapi juga dari efisiensi sumber daya dan dampak lingkungan secara keseluruhan.

6.3.9 Teknologi Enzimatik

Teknologi enzimatik menjadi salah satu pendekatan paling prospektif dalam modernisasi industri pengolahan kulit karena menawarkan proses yang lebih selektif, efisien, dan ramah lingkungan dibanding metode kimia konvensional. Enzim bekerja sebagai biokatalis yang mampu menghidrolisis substrat spesifik tanpa menyebabkan kerusakan berlebihan pada struktur kolagen utama. Pendekatan ini sangat penting dalam produksi biomaterial karena integritas molekuler protein menentukan kualitas dan performa produk akhir.

Dalam industri kulit, enzim yang paling banyak digunakan meliputi protease, keratinase, lipase, dan amilase. Protease digunakan pada tahap soaking dan bating untuk menghilangkan protein non-kolagen, sedangkan keratinase berperan dalam proses dehairing melalui degradasi keratin rambut dan bulu. Lipase dimanfaatkan untuk mengurangi kandungan lemak alami pada kulit, sementara amilase digunakan untuk menghilangkan residu polisakarida tertentu (Thanikaivelan *et al*., 2004).

Pada proses dehairing konvensional, natrium sulfida digunakan untuk memutus ikatan disulfida keratin. Meskipun efektif, penggunaan sulfida menghasilkan limbah toksik dan gas hidrogen sulfida yang berbahaya bagi lingkungan maupun

kesehatan pekerja. Penggunaan keratinase menawarkan pendekatan yang lebih selektif karena mampu mendegradasi keratin tanpa merusak fibril kolagen secara signifikan (Gupta *et al*., 2002). Teknologi ini memungkinkan pengurangan konsumsi bahan kimia sekaligus mempertahankan kualitas struktur kulit dan gelatin yang dihasilkan.

Keunggulan lain teknologi enzimatik adalah kemampuannya bekerja pada suhu dan pH yang relatif moderat sehingga konsumsi energi lebih rendah dibanding proses kimia konvensional. Selain itu, limbah hasil proses biologis umumnya lebih mudah terdegradasi dan memiliki toksisitas lebih rendah.

Meskipun demikian, efektivitas enzim sangat dipengaruhi oleh kondisi proses seperti suhu, pH, waktu inkubasi, dan keberadaan inhibitor kimia. Aktivitas enzim yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan degradasi kolagen berlebihan sehingga menurunkan kekuatan mekanik dan kualitas biomaterial. Oleh karena itu, optimasi parameter proses menjadi faktor penting dalam penerapan teknologi enzimatik pada skala industri.

Perkembangan bioteknologi modern juga mendorong eksplorasi mikroorganisme penghasil enzim baru dengan stabilitas tinggi dan spesifisitas lebih baik. Pendekatan ini membuka peluang pengembangan proses pengolahan kulit yang lebih efisien, selektif, dan berkelanjutan (Sahni & Phutela, 2015).

6.3.10 Ultrasonik dan Microwave-Assisted Extraction

Perkembangan teknologi ekstraksi modern mendorong penggunaan metode non-konvensional seperti ultrasonik dan microwave-assisted extraction (MAE) untuk

meningkatkan efisiensi ekstraksi kolagen dan gelatin. Kedua teknologi ini dikembangkan untuk mempercepat proses, mengurangi penggunaan energi dan bahan kimia, serta meningkatkan rendemen ekstraksi tanpa menurunkan kualitas produk secara signifikan.

Teknologi ultrasonik bekerja menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi yang menghasilkan fenomena kavitasi dalam medium cair. Gelembung mikro yang terbentuk mengalami pertumbuhan dan implosi secara cepat sehingga menghasilkan tekanan lokal tinggi, suhu mikro ekstrem, dan gaya geser kuat. Fenomena tersebut menyebabkan disrupsi jaringan kulit dan mempercepat transfer massa antara pelarut dan matriks kolagen (Chemat *et al*., 2017).

Pada ekstraksi kolagen, ultrasonik meningkatkan penetrasi pelarut ke dalam jaringan dermis sehingga proses swelling dan pelepasan protein berlangsung lebih cepat dibanding metode konvensional. Teknologi ini juga mampu meningkatkan rendemen gelatin dan menurunkan waktu ekstraksi secara signifikan. Namun, intensitas ultrasonik yang terlalu tinggi dapat menyebabkan depolimerisasi rantai protein sehingga menurunkan viskositas dan kekuatan gel gelatin.

Sementara itu, microwave-assisted extraction bekerja melalui interaksi gelombang elektromagnetik dengan molekul polar seperti air. Energi microwave menyebabkan rotasi dipol dan migrasi ion sehingga terjadi pemanasan volumetrik yang cepat dan merata. Pada ekstraksi kolagen, pemanasan cepat mempercepat denaturasi struktur triple helix dan meningkatkan pelepasan gelatin dari matriks kulit (Routray & Orsat, 2012).

Keunggulan utama MAE adalah efisiensi energi dan waktu proses yang jauh lebih singkat dibanding pemanasan konvensional. Selain itu, distribusi panas yang lebih homogen mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi dan mengurangi kehilangan energi selama proses berlangsung. Namun demikian, kontrol suhu menjadi aspek penting karena overheating dapat menyebabkan fragmentasi protein berlebihan dan menurunkan kualitas biomaterial yang dihasilkan (Tiwari, 2015).

Integrasi teknologi ultrasonik dan MAE menunjukkan bahwa industri pengolahan biomaterial mulai bergerak menuju sistem proses yang lebih cepat, hemat energi, dan berorientasi pada green processing technology. Pendekatan ini juga membuka peluang pengembangan proses ekstraksi berkelanjutan dengan konsumsi bahan kimia yang lebih rendah.

6.3.11 Nanoteknologi Kolagen

Perkembangan nanoteknologi membuka peluang baru dalam pemanfaatan kolagen sebagai biomaterial fungsional bernilai tinggi. Kolagen memiliki biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan bioaktivitas yang sangat baik sehingga banyak digunakan dalam pengembangan material nano untuk aplikasi farmasi, kosmetik, rekayasa jaringan, dan sistem penghantaran obat (Shoulders & Raines, 2009).

Nanokolagen umumnya diproduksi melalui hidrolisis terkontrol, nanopresipitasi, self-assembly, atau electrospinning. Pada skala nano, luas permukaan material meningkat secara signifikan sehingga interaksi biologis dan bioavailabilitasnya menjadi lebih tinggi dibanding material konvensional.

Salah satu teknologi paling penting dalam produksi nanokolagen adalah electrospinning, yaitu pembentukan nanofiber menggunakan medan listrik tegangan tinggi. Larutan kolagen dialirkan melalui nozzle dan mengalami peregangan akibat gaya elektrostatik hingga membentuk serat ultrahalus menyerupai matriks ekstraseluler alami. Struktur tersebut sangat ideal untuk aplikasi tissue engineering karena mampu mendukung adhesi, proliferasi, dan diferensiasi sel (Bhardwaj & Kundu, 2010).

Selain dalam bentuk nanofiber, kolagen juga dikembangkan menjadi nanopartikel untuk sistem penghantaran senyawa bioaktif. Ukuran partikel yang sangat kecil memungkinkan penetrasi lebih baik serta pelepasan zat aktif secara terkontrol. Teknologi ini banyak dimanfaatkan pada produk kosmetik anti-aging, drug delivery system, dan biomaterial regeneratif.

Karakterisasi nanokolagen umumnya dilakukan menggunakan SEM untuk mengevaluasi morfologi dan diameter serat, FTIR untuk memastikan integritas struktur protein, serta DSC untuk mengevaluasi stabilitas termal material nano yang dihasilkan. Analisis tersebut penting untuk memastikan bahwa proses nanoformulasi tidak merusak bioaktivitas kolagen.

Integrasi nanoteknologi dengan biomaterial kolagen menunjukkan transformasi industri pengolahan kulit dari sekadar industri penyamakan konvensional menuju industri biomaterial berbasis bioteknologi maju. Pendekatan ini memperluas nilai tambah hasil samping ternak sekaligus meningkatkan potensi aplikasinya pada bidang kesehatan dan teknologi material modern (Parenteau-Bareil *et al*., 2010)

6.4 Teknologi Pengolahan Bulu dan Keratin

Kulit merupakan salah satu hasil samping ternak yang memiliki nilai ekonomi dan bioteknologi sangat tinggi karena kaya akan protein struktural, terutama kolagen tipe I. Bulu dan wool merupakan hasil samping peternakan yang dihasilkan dalam jumlah besar, terutama dari industri unggas dan ruminansia. Pada industri perunggasan modern, bulu ayam dapat mencapai sekitar 5–7% dari bobot hidup unggas sehingga akumulasi limbahnya menjadi permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat. Namun demikian, bulu dan wool memiliki kandungan protein sangat tinggi, terutama keratin, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber biomaterial, protein pakan, bahan biodegradable, dan material biomedis bernilai tinggi.

Keratin memiliki stabilitas fisikokimia tinggi akibat banyaknya ikatan disulfida intermolekuler sehingga relatif resisten terhadap degradasi biologis maupun kimiawi. Oleh karena itu, pemanfaatan bulu memerlukan teknologi pengolahan khusus untuk memutus struktur rigid protein tersebut tanpa merusak nilai fungsionalnya secara berlebihan.

Teknologi pengolahan keratin berkembang dari metode konvensional menuju pendekatan bioteknologi yang lebih selektif dan ramah lingkungan. Metode yang umum digunakan meliputi hidrolisis termal, hidrolisis kimia, fermentasi mikroba, dan hidrolisis enzimatik menggunakan keratinase. Pemilihan metode sangat menentukan karakteristik protein hasil hidrolisis, terutama distribusi berat molekul, kelarutan, dan bioaktivitas peptida yang dihasilkan.

6.4.1 Hidrolisis Termal dan Kimia Keratin

Hidrolisis termal merupakan metode konvensional yang banyak digunakan untuk mengolah bulu unggas menjadi feather meal. Proses ini dilakukan melalui kombinasi tekanan dan suhu tinggi untuk memutus ikatan disulfida keratin sehingga protein menjadi lebih mudah dicerna. Pada industri rendering, bulu diproses menggunakan steam pressure cooking pada suhu sekitar 120–150°C dengan tekanan tinggi selama waktu tertentu (Papadopoulos, 1985).

Perlakuan termal mampu meningkatkan digestibilitas protein secara signifikan karena struktur β-keratin yang rigid mengalami denaturasi dan fragmentasi. Namun, pemanasan berlebihan dapat menyebabkan degradasi asam amino esensial seperti lisin dan metionin sehingga menurunkan nilai nutrisi produk akhir. Oleh karena itu, optimasi suhu dan waktu proses menjadi faktor penting dalam produksi feather meal berkualitas tinggi.

Selain metode termal, hidrolisis kimia dilakukan menggunakan larutan asam atau alkali untuk memutus ikatan disulfida dan mempercepat depolimerisasi keratin. Perlakuan alkali umumnya lebih efektif dalam membuka struktur protein, tetapi penggunaan bahan kimia kuat dapat menyebabkan kerusakan asam amino tertentu dan menghasilkan limbah dengan beban pencemaran tinggi (Onifade *et al*., 1998).

Meskipun metode kimia relatif cepat dan efisien, pendekatan ini mulai dikurangi dalam industri modern karena tingginya konsumsi bahan kimia dan potensi dampak lingkungan. Sebagai alternatif, teknologi biologis dan enzimatik semakin dikembangkan untuk menghasilkan

proses yang lebih selektif dan berkelanjutan (Gupta & Ramnani, 2006).

6.4.2 Teknologi Enzimatik dan Fermentasi Keratin

Penggunaan enzim keratinase menjadi salah satu pendekatan paling menjanjikan dalam pengolahan bulu dan limbah keratin. Keratinase merupakan enzim proteolitik khusus yang mampu menghidrolisis keratin melalui pemutusan ikatan peptida dan reduksi ikatan disulfida secara simultan (Gupta & Ramnani, 2006).

Berbagai mikroorganisme seperti Bacillus sp., Streptomyces sp., dan beberapa fungi diketahui mampu menghasilkan keratinase dengan aktivitas tinggi. Melalui fermentasi mikroba, struktur keratin dapat didegradasi menjadi peptida dan asam amino yang lebih mudah dimanfaatkan pada industri pakan, pupuk organik, maupun biomaterial (Onifade *et al*., 1998).

Dibanding metode kimia, hidrolisis enzimatik memiliki beberapa keunggulan, yaitu kondisi proses lebih moderat, konsumsi energi lebih rendah, dan kerusakan asam amino lebih minimal. Selain itu, produk hasil hidrolisis enzimatik umumnya memiliki bioaktivitas lebih baik karena peptida yang dihasilkan relatif lebih terkontrol.

Fermentasi keratin juga menghasilkan berbagai metabolit biologis yang berpotensi digunakan sebagai biostimulan tanaman dan pupuk organik. Pendekatan ini mendukung pengembangan sistem bioekonomi berbasis limbah peternakan dengan prinsip waste valorization dan circular bioeconomy (Tesfaye *et al*., 2017).

Namun demikian, efisiensi hidrolisis enzimatik sangat dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, pH, suhu, aerasi, dan

karakteristik substrat. Oleh karena itu, optimasi proses menjadi aspek penting dalam penerapan teknologi keratinase pada skala industri.

6.4.3 Pemanfaatan Keratin dalam Industri

Perkembangan teknologi biomaterial memperluas pemanfaatan keratin tidak hanya sebagai bahan pakan, tetapi juga sebagai biomaterial fungsional bernilai tinggi. Hidrolisat keratin memiliki sifat biodegradable, biokompatibel, dan kemampuan pembentukan film sehingga berpotensi digunakan pada berbagai aplikasi industri (Shavandi *et al*., 2017) .

Dalam bidang pertanian, keratin hidrolisat dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena kaya nitrogen dan asam amino. Produk ini mampu meningkatkan kesuburan tanah dan menyediakan nutrien secara bertahap bagi tanaman. Selain itu, keratin juga digunakan sebagai bahan adsorben biologis untuk menyerap logam berat dan senyawa pencemar karena memiliki gugus fungsional aktif yang mampu berinteraksi dengan ion logam (Tesfaye *et al*., 2017).
Pada industri biomaterial, keratin mulai dikembangkan sebagai scaffold jaringan, wound dressing, hidrogel, dan film biodegradable. Struktur protein keratin mampu mendukung adhesi sel dan memiliki kompatibilitas biologis yang baik sehingga potensial digunakan pada aplikasi medis dan rekayasa jaringan (Wang *et al*., 2016).

Keratin juga digunakan dalam industri kosmetik sebagai bahan aktif pada produk perawatan rambut dan kulit. Kandungan peptida dan asam amino sulfur berperan dalam

meningkatkan kelembapan, elastisitas, dan kekuatan struktur rambut.

Perkembangan nanoteknologi semakin memperluas aplikasi keratin melalui produksi nanopartikel dan nanofiber berbasis protein. Material nano berbasis keratin menunjukkan potensi tinggi dalam drug delivery system, biomaterial regeneratif, dan material biodegradable ramah lingkungan (Aluigi *et al*., 2009).

6.5 Teknologi Pengolahan Darah, Tulang dan Lemak Hewani

Pengolahan darah, tulang, dan lemak hewani merupakan bagian penting dalam sistem pemanfaatan hasil samping ternak secara terpadu. Ketiga komponen tersebut mengandung protein, lipid, dan mineral bernilai tinggi yang dapat diolah menjadi produk pangan, pakan, biomaterial, maupun energi terbarukan. Selain meningkatkan nilai ekonomi, pengolahan yang tepat juga berperan dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah rumah potong hewan.

6.5.1 Pengolahan Darah

Darah merupakan salah satu hasil samping dengan kandungan protein tertinggi dalam industri peternakan. Komponen utama darah meliputi plasma dan sel darah merah yang kaya hemoglobin. Pengolahan darah umumnya dilakukan melalui pemisahan plasma, pengeringan, dan hidrolisis protein untuk menghasilkan produk dengan karakteristik fungsional tertentu (Ofori & Hsieh, 2011).

Blood meal diproduksi melalui proses pengeringan darah menggunakan spray drying atau drum drying. Produk ini memiliki kandungan protein tinggi sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan pakan. Namun, proses pemanasan yang terlalu tinggi dapat menurunkan kecernaan protein akibat denaturasi berlebihan dan reaksi Maillard (Bah *et al*., 2013).

Plasma darah memiliki sifat emulsifikasi dan pengikatan air yang baik sehingga digunakan dalam produk pangan olahan sebagai binder dan stabilizer. Sementara itu, hemoglobin dapat dihidrolisis menjadi peptida bioaktif dengan aktivitas antioksidan dan antimikroba (Q. Liu *et al*., 2010).

Dalam bidang bioteknologi, protein darah juga dikembangkan sebagai sumber bioaktif untuk farmasi dan nutraceutical. Pendekatan ini menunjukkan bahwa darah tidak lagi dipandang sebagai limbah, melainkan sebagai sumber protein fungsional bernilai tinggi.

6.5.2 Pengolahan Tulang dan Hidroksiapatit

Tulang mengandung kolagen dan mineral dalam jumlah besar sehingga berpotensi dimanfaatkan untuk produksi gelatin, tepung tulang, dan biomaterial ortopedi. Pengolahan tulang umumnya diawali dengan degreasing untuk menghilangkan lemak, diikuti deproteinization dan ekstraksi mineral (Rodrigues *et al*., 2003).

Bone meal diproduksi melalui pengeringan dan penggilingan tulang menjadi tepung kaya kalsium dan fosfor yang digunakan sebagai bahan pakan dan pupuk mineral. Selain itu, tulang juga digunakan sebagai sumber gelatin melalui proses demineralisasi dan hidrolisis kolagen.

Dalam bidang biomaterial, hidroksiapatit biologis dari tulang memiliki nilai tinggi karena komposisinya menyerupai mineral alami tulang manusia. Material ini banyak digunakan pada bone graft, scaffold jaringan tulang, coating implan, dan aplikasi kedokteran gigi (Hench, 2013).

Teknologi modern memungkinkan produksi nano-hidroksiapatit dengan luas permukaan tinggi dan bioaktivitas lebih baik (Dorozhkin, 2010). Pendekatan ini memperluas pemanfaatan tulang sebagai biomaterial regeneratif bernilai tinggi.

6.5.3 Rendering Lemak dan Biodiesel

Rendering merupakan proses pemisahan lemak dari jaringan hewan melalui perlakuan panas. Produk utama yang dihasilkan adalah tallow dan poultry fat yang digunakan pada industri pangan, kosmetik, sabun, pelumas, dan bioenergi (Jayathilakan *et al*., 2012).

Pada industri modern, lemak hewani banyak dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel melalui proses transesterifikasi. Dalam proses ini, trigliserida direaksikan dengan alkohol menggunakan katalis untuk menghasilkan fatty acid methyl ester (FAME) dan gliserol. Biodiesel berbasis lemak hewani memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Knothe, 2005).

Karakteristik biodiesel dipengaruhi oleh komposisi asam lemak bahan baku. Lemak dengan kandungan asam lemak jenuh tinggi umumnya memiliki stabilitas oksidatif lebih baik, tetapi titik beku relatif tinggi. Oleh karena itu, pemilihan bahan baku dan optimasi proses menjadi faktor penting dalam produksi biodiesel berkualitas tinggi.

Pemanfaatan lemak hewani sebagai bioenergi menunjukkan bahwa hasil samping peternakan dapat berkontribusi pada pengembangan industri energi berkelanjutan dan sistem circular economy berbasis biomassa biologis.

6.6 *Green Technology* dan *Circular Bioeconomy* dalam Pengolahan *By-Product* Ternak

Perkembangan industri peternakan modern tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan produksi, tetapi juga pada efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks ini, pengolahan by-product ternak menjadi bagian penting dari sistem circular bioeconomy, yaitu pendekatan ekonomi yang memanfaatkan biomassa biologis secara optimal melalui prinsip reduce, reuse, recycle, dan recovery.

Pendekatan circular bioeconomy bertujuan mengubah limbah organik menjadi produk bernilai tambah tinggi sehingga residu produksi dapat diminimalkan. Pada industri peternakan, konsep ini diterapkan melalui pemanfaatan kulit, bulu, darah, tulang, lemak, dan limbah rumah potong hewan sebagai sumber biomaterial, energi, pupuk, pakan, maupun senyawa bioaktif. Dengan demikian, sistem produksi menjadi lebih efisien dan berkelanjutan.

Penerapan green technology dalam pengolahan by-product difokuskan pada pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, efisiensi energi, penghematan air, dan minimisasi limbah. Pendekatan ini berkembang seiring

meningkatnya perhatian terhadap dampak lingkungan industri peternakan, terutama pencemaran air, emisi gas rumah kaca, dan akumulasi limbah organik.

Salah satu strategi utama adalah penggunaan bioteknologi dan bioproses sebagai pengganti metode kimia konvensional. Penggunaan enzim, fermentasi mikroba, biosurfaktan, dan pelarut hijau memungkinkan proses berlangsung lebih selektif dan menghasilkan limbah dengan toksisitas lebih rendah. Selain itu, teknologi berbasis membran, ultrasonik, dan microwave-assisted extraction mampu meningkatkan efisiensi proses sekaligus menurunkan konsumsi energi dan pelarut.

Integrasi sistem pengolahan limbah juga menjadi bagian penting dalam konsep bioekonomi sirkular. Limbah organik dari rumah potong hewan dapat diolah melalui anaerobic digestion untuk menghasilkan biogas sebagai sumber energi terbarukan. Residu padat hasil fermentasi selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik kaya nitrogen dan fosfor. Pendekatan ini memungkinkan terbentuknya sistem produksi yang lebih tertutup dan efisien.

Dalam industri modern, keberlanjutan tidak hanya diukur berdasarkan volume produksi, tetapi juga melalui efisiensi penggunaan biomassa dan jejak lingkungan yang dihasilkan. Oleh karena itu, transformasi industri pengolahan hasil samping ternak menuju sistem bioindustri berkelanjutan menjadi langkah strategis dalam mendukung ketahanan pangan, energi, dan lingkungan di masa depan.

6.6.1 *Cleaner Production* dan Efisiensi Proses

Cleaner production merupakan strategi preventif untuk mengurangi pencemaran sejak sumber proses, bukan hanya mengolah limbah di akhir produksi. Pendekatan ini menekankan efisiensi penggunaan bahan baku, energi, air, dan bahan kimia sehingga menghasilkan proses yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (UNEP (United Nations Environment Programme)., 2002).

Dalam industri pengolahan kulit, penerapan cleaner production dilakukan melalui optimasi penggunaan air pada tahap soaking dan washing, penggunaan sistem resirkulasi cairan proses, serta pengurangan penggunaan sulfida dan kromium. Teknologi low-salt curing dan water-saving tanning juga mulai diterapkan untuk menurunkan beban limbah cair industri penyamakan.

Pada pengolahan bulu dan darah, cleaner production dilakukan melalui pemanfaatan langsung biomassa menjadi produk bernilai tambah seperti feather hydrolysate, blood meal, dan peptida bioaktif. Pendekatan ini mampu menurunkan akumulasi limbah organik sekaligus meningkatkan efisiensi ekonomi industri.

Efisiensi proses juga didukung oleh penerapan teknologi otomatisasi dan kontrol proses berbasis sensor. Penggunaan sistem monitoring suhu, pH, tekanan, dan konsumsi energi memungkinkan optimasi proses secara real-time sehingga kehilangan bahan baku dan energi dapat diminimalkan (Thanikaivelan *et al*., 2004).

6.6.2 Biorefinery By-Product Ternak

Konsep biorefinery mengacu pada pengolahan biomassa secara terpadu untuk menghasilkan berbagai produk bernilai tinggi dalam satu sistem proses. Dalam industri peternakan, pendekatan ini memungkinkan seluruh komponen hasil samping dimanfaatkan secara maksimal tanpa menghasilkan limbah yang signifikan (Cherubini, 2010). Sebagai contoh, kulit ternak dapat diolah menjadi kolagen, gelatin, peptida bioaktif, dan biomaterial nano. Bulu dapat dikonversi menjadi keratin hidrolisat, pupuk organik, dan biomaterial biodegradable. Darah dimanfaatkan untuk produksi plasma protein, hemoglobin hydrolysate, dan bioaktif peptide, sedangkan tulang digunakan untuk menghasilkan gelatin, bone meal, dan hidroksiapatit biologis. Pendekatan biorefinery meningkatkan efisiensi pemanfaatan biomassa karena satu jenis bahan baku dapat menghasilkan berbagai produk dengan nilai ekonomi berbeda. Selain itu, integrasi proses memungkinkan pengurangan limbah dan peningkatan efisiensi energi melalui pemanfaatan residu proses sebagai sumber energi atau bahan baku sekunder (Cherubini, 2010).

Perkembangan teknologi pemisahan modern seperti membrane filtration, chromatography, dan nanoencapsulation semakin memperluas potensi biorefinery hasil samping ternak. Teknologi tersebut memungkinkan isolasi senyawa bioaktif dengan kemurnian tinggi untuk aplikasi pangan fungsional, farmasi, dan biomaterial medis (Galanakis, 2012). Integrasi konsep biorefinery dengan prinsip circular bioeconomy menunjukkan transformasi industri peternakan menuju sistem produksi yang lebih

berkelanjutan, efisien, dan berbasis nilai tambah biomassa biologis.

6.7.3 Pengolahan Limbah dan Pemanfaatan Energi

Industri pengolahan hasil samping ternak menghasilkan limbah cair dan padat dengan kandungan bahan organik tinggi. Apabila tidak diolah dengan baik, limbah tersebut dapat meningkatkan BOD, COD, emisi gas rumah kaca, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, sistem pengolahan limbah menjadi bagian integral dari bioindustri peternakan modern (Jayathilakan *et al*., 2012).

Pengolahan limbah cair umumnya dilakukan melalui kombinasi proses fisik, kimia, dan biologis. Teknologi anaerobic digestion banyak digunakan karena mampu menurunkan beban organik sekaligus menghasilkan biogas yang mengandung metana sebagai sumber energi terbarukan. Biogas dapat dimanfaatkan untuk pemanasan proses industri atau pembangkit listrik skala kecil (Ward *et al*., 2008).

Selain anaerobic digestion, teknologi membrane bioreactor, constructed wetland, dan biofilter juga digunakan untuk meningkatkan kualitas efluen sebelum dibuang ke lingkungan. Pendekatan ini membantu menurunkan kandungan padatan tersuspensi, nitrogen, fosfor, dan mikroorganisme patogen.

Residu padat hasil pengolahan limbah dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik atau bahan baku kompos. Kandungan nitrogen, fosfor, dan bahan organik yang tinggi menjadikan residu tersebut potensial untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertanian berkelanjutan.

Integrasi pengolahan limbah dan pemanfaatan energi menunjukkan bahwa by-product ternak memiliki potensi besar dalam mendukung sistem produksi rendah limbah dan rendah emisi karbon.

6.7 Aplikasi Biomaterial dan Industri Masa Depan

Perkembangan ilmu biomaterial dan bioteknologi memperluas pemanfaatan hasil samping ternak dari sekadar produk konvensional menuju material fungsional bernilai tinggi. Kolagen, gelatin, keratin, protein darah, dan hidroksiapatit kini tidak hanya digunakan dalam industri pangan dan pakan, tetapi juga berkembang pada bidang medis, farmasi, kosmetik, rekayasa jaringan, dan nanoteknologi.

Transformasi ini menunjukkan bahwa hasil samping ternak memiliki potensi strategis sebagai sumber biomaterial alami yang biodegradable, biokompatibel, dan berkelanjutan. Integrasi teknologi modern memungkinkan biomassa ternak diolah menjadi produk dengan performa biologis dan mekanik yang mendekati material sintetis, bahkan dalam beberapa aplikasi memiliki keunggulan tertentu karena sifat bioaktifnya.

6.7.1 Biomaterial Kolagen dan Gelatin

Kolagen dan gelatin merupakan biomaterial paling banyak dikembangkan dari hasil samping ternak. Kedua protein ini memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, dan mampu mendukung adhesi serta proliferasi sel sehingga sangat potensial untuk aplikasi medis dan regeneratif (Shoulders & Raines, 2009).

Dalam bidang tissue engineering, kolagen digunakan sebagai scaffold untuk regenerasi jaringan kulit, tulang, tulang rawan, dan pembuluh darah. Struktur fibriler kolagen menyerupai extracellular matrix alami sehingga mampu menyediakan lingkungan mikro yang mendukung pertumbuhan sel (Parenteau-Bareil *et al*., 2010).

Gelatin banyak dimanfaatkan sebagai hidrogel, wound dressing, drug delivery system, dan edible biomaterial. Modifikasi gelatin melalui cross-linking atau kombinasi dengan biopolimer lain mampu meningkatkan stabilitas mekanik dan ketahanan degradasinya (Gómez-Guillén *et al*., 2011).

Perkembangan nanoteknologi juga memungkinkan produksi nanokolagen dan nanogelatin dengan luas permukaan tinggi dan bioaktivitas lebih baik. Material nano tersebut banyak dikembangkan untuk penghantaran obat terkontrol, kosmetik anti-aging, dan biomaterial regeneratif generasi baru (Bhardwaj & Kundu, 2010).

Integrasi biomaterial berbasis kolagen dan gelatin dengan teknologi rekayasa jaringan menunjukkan bahwa hasil samping ternak memiliki potensi besar sebagai sumber biomaterial maju bernilai tinggi pada bidang kesehatan dan bioteknologi modern.

6.7.2 Biomaterial Keratin

Keratin berkembang sebagai biomaterial alternatif karena memiliki kemampuan self-assembly, sifat biodegradable, dan kompatibilitas biologis yang baik. Hidrolisat keratin dapat diproses menjadi film, sponge, scaffold, dan hidrogel untuk berbagai aplikasi medis dan lingkungan (Shavandi *et al*., 2017).

Dalam bidang wound healing, biomaterial keratin mampu mempercepat regenerasi jaringan melalui dukungan terhadap migrasi dan proliferasi sel. Selain itu, kandungan sistein dan gugus sulfur aktif memungkinkan interaksi biologis yang baik dengan jaringan tubuh (Hill *et al*., 2010). Keratin juga banyak digunakan dalam industri kosmetik dan perawatan rambut karena kemampuannya memperbaiki struktur serat rambut dan meningkatkan kelembapan. Dalam bidang lingkungan, biomaterial keratin dikembangkan sebagai biosorben untuk menyerap logam berat dan polutan organik dari air limbah (Tesfaye *et al*., 2017).

6.7.3 Hidroksiapatit dan Biomaterial Tulang

Hidroksiapatit biologis dari tulang ternak memiliki komposisi yang mirip dengan mineral alami tulang manusia sehingga sangat potensial untuk aplikasi ortopedi dan kedokteran gigi. Material ini banyak digunakan sebagai bone graft, scaffold jaringan tulang, coating implan, dan filler biomaterial (Dorozhkin, 2010).

Pengembangan nano-hidroksiapatit meningkatkan bioaktivitas material karena ukuran partikel yang kecil memberikan luas permukaan lebih besar dan kemampuan interaksi sel yang lebih baik. Kombinasi hidroksiapatit dengan kolagen juga menghasilkan biomaterial komposit yang menyerupai struktur alami jaringan tulang (Valletregi, 2004).

Dalam rekayasa jaringan, biomaterial berbasis kolagen-hidroksiapatit menunjukkan potensi tinggi untuk mendukung diferensiasi osteoblas dan regenerasi jaringan keras. Pendekatan ini menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan biomaterial regeneratif modern (Hench, 2013).

Integrasi biomaterial berbasis kolagen dan hidroksiapatit memperlihatkan transformasi pemanfaatan hasil samping ternak dari sekadar sumber bahan baku konvensional menjadi material biomedis bernilai tinggi untuk aplikasi kesehatan dan rekayasa jaringan.

6.7.4 Protein Darah dan Peptida Bioaktif

Protein darah berkembang sebagai sumber senyawa bioaktif untuk industri pangan fungsional, farmasi, dan nutraceutical. Hidrolisis enzimatik protein plasma dan hemoglobin menghasilkan peptida dengan berbagai aktivitas biologis seperti antioksidan, antihipertensi, antimikroba, dan imunomodulator (Bah *et al*., 2013).

Peptida bioaktif bekerja melalui mekanisme spesifik, misalnya penghambatan enzim angiotensin-converting enzyme (ACE) yang berperan dalam regulasi tekanan darah. Selain itu, beberapa peptida hasil hidrolisis hemoglobin menunjukkan aktivitas penghambatan pertumbuhan mikroorganisme patogen sehingga berpotensi digunakan sebagai natural preservative dalam sistem pangan (Q. Liu *et al*., 2010).

Plasma darah juga memiliki sifat fungsional penting seperti emulsifikasi, pembentukan gel, dan pengikatan air yang baik. Karakteristik tersebut mendukung pemanfaatannya dalam produk olahan daging, pangan tinggi protein, dan formulasi pangan khusus (Ofori & Hsieh, 2011).

Dalam bidang farmasi dan biomaterial, fibrinogen dan turunannya dimanfaatkan sebagai komponen perekat biologis (fibrin glue) untuk aplikasi bedah dan rekayasa jaringan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa darah tidak hanya

memiliki nilai nutrisi, tetapi juga potensi tinggi sebagai sumber biomaterial bioaktif .

6.7.5 Edible Film dan Bioplastik Berbasis Protein

Meningkatnya perhatian terhadap pencemaran plastik sintetis mendorong pengembangan material biodegradable berbasis protein hewani. Kolagen, gelatin, dan keratin memiliki kemampuan membentuk film tipis yang fleksibel sehingga berpotensi digunakan sebagai edible film dan bioplastik ramah lingkungan (Gómez-Guillén *et al*., 2011).

Edible film berbasis gelatin memiliki sifat transparan, kemampuan pembentukan gel baik, dan permeabilitas oksigen rendah sehingga sesuai untuk aplikasi pengemasan pangan. Namun, sifat hidrofilik gelatin menyebabkan ketahanan terhadap air relatif rendah. Oleh karena itu, modifikasi formulasi melalui penambahan lipid, polisakarida, atau cross-linking sering dilakukan untuk meningkatkan stabilitas film (Tongnuanchan *et al*., 2012).

Keratin juga dikembangkan sebagai bahan bioplastik karena memiliki kekuatan mekanik dan stabilitas biologis yang baik. Kombinasi keratin dengan biopolimer lain seperti kitosan, pati, dan selulosa mampu menghasilkan material komposit dengan karakteristik fisik yang lebih baik, termasuk peningkatan fleksibilitas, ketahanan air, dan stabilitas termal (Shavandi *et al*., 2017).

Pengembangan edible biomaterial menunjukkan bahwa hasil samping ternak dapat menjadi alternatif material pengemasan berkelanjutan yang mendukung pengurangan limbah plastik konvensional.

6.7.6 Prospek Industri Biomaterial Berbasis By-Product Ternak

Perkembangan biomaterial berbasis hasil samping ternak menunjukkan transformasi besar dalam industri peternakan modern. By-product yang sebelumnya dianggap limbah kini menjadi sumber biomolekul strategis dengan nilai ekonomi tinggi dan aplikasi lintas sektor.

Kemajuan teknologi ekstraksi, bioteknologi, nanoteknologi, dan rekayasa material membuka peluang produksi biomaterial generasi baru dengan performa lebih baik dan fungsi lebih spesifik. Kolagen nano, scaffold keratin, hidrogel bioaktif, serta nano-hidroksiapatit merupakan contoh inovasi yang berkembang pesat dalam bidang biomaterial medis dan regeneratif (Shavandi *et al*., 2017).

Selain aspek teknologi, peningkatan kesadaran terhadap keberlanjutan juga mendorong permintaan pasar terhadap biomaterial alami yang biodegradable dan biokompatibel. Kondisi ini memberikan peluang besar bagi industri peternakan untuk mengembangkan sistem produksi terintegrasi berbasis circular bioeconomy.

Meskipun demikian, pengembangan biomaterial berbasis hasil samping ternak masih menghadapi berbagai tantangan seperti standarisasi kualitas bahan baku, keamanan biologis, efisiensi proses ekstraksi, serta regulasi untuk aplikasi pangan dan medis. Oleh karena itu, integrasi penelitian multidisiplin menjadi kunci dalam pengembangan teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Transformasi industri hasil samping ternak menuju industri biomaterial menunjukkan bahwa masa depan peternakan tidak hanya bergantung pada produksi pangan,

tetapi juga pada kemampuan menghasilkan biomaterial dan bioindustri bernilai tambah tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Aluigi, A., Vineis, C., Tonin, C., Tonetti, C., Varesano, A., & Mazzuchetti, G. (2009). Wool Keratin-Based Nanofibres for Active Filtration of Air and Water. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, *3*(3), 311–319. https://doi.org/10.1166/jbmb.2009.1039

Angenot, L. (1990). Plant polyphenols: Vegetable tannins revisited. *Biochemical Systematics and Ecology*, *18*(5), 390. https://doi.org/10.1016/0305-1978(90)90019-C

Bah, C. S. F., Bekhit, A. E. A., Carne, A., & McConnell, M. A. (2013). Slaughterhouse Blood: An Emerging Source of Bioactive Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(3), 314–331. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12013

Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, *28*(3), 325–347. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv. 2010.01.004

Buljan, J. , Kral, I. , & Clas, L. (2011). *Introduction To Treatment Of Tannery Effluents*.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *34*, 540–560. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035

Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, *51*(7), 1412–1421. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015

Covington, A. D., & Wise, W. R. (2019). *Tanning Chemistry: The Science of Leather*. The Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781839168826

Dorozhkin, S. V. (2010). Nanosized and nanocrystalline calcium orthophosphates. *Acta Biomaterialia*, *6*(3), 715–734. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.10.031

Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, *26*(2), 68–87. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. . *Food Hydrocolloids*, *25*(8).

Gunstone, F. D. . (2004). *The chemistry of oils and fats : sources, composition, properties, and uses*. Blackwell Pub. ; CRC Press.

Gupta, R., Beg, Q., & Lorenz, P. (2002). Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* , *59*, 15–32.

Gupta, R., & Ramnani, P. (2006). Microbial keratinases and their prospective applications: an overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *70*(1), 21–33. https://doi.org/10.1007/s00253-005-0239-8

Hench, L. L. (2013). *An Introduction to Bioceramics*. IMPERIAL COLLEGE PRESS. https://doi.org/10.1142/p884

Hill, P., Brantley, H., & Van Dyke, M. (2010). Some properties of keratin biomaterials: Kerateines. *Biomaterials*, *31*(4), 585–593. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials. 2009. 09.076

Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(3), 278–293. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7

Jeevithan, E., Bao, B., Bu, Y., Zhou, Y., Zhao, Q., & Wu, W. (2014). Type II Collagen and Gelatin from Silvertip Shark (Carcharhinus albimarginatus) Cartilage: Isolation, Purification, Physicochemical and Antioxidant Properties. *Marine Drugs*, *12*(7), 3852–3873. https://doi.org/10.3390/md12073852

Kanagaraj, J., Velappan, K. C., Babu, N. K. C., & Sadulla, S. (2006). Solid Wastes Generation in the Leather Industry and Its Utilization for Cleaner Environment. *ChemInform*, *37*(49). https://doi.org/10.1002/chin. 2006 49273

Karim, A. A. , & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, *19*(12), 644–656.

Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*, *23*(3), 563–576. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002

Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, *86*(10), 1059–1070. https://doi.org/10.1016/ j.fuproc.2004.11.002

Knothe, G., Gerpen, J. Van, & Krahl, J. (2005). *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press.

Liu, D., Liang, L., Regenstein, J. M., & Zhou, P. (2012). Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagen from fins, scales, skins, bones and swim bladders of bighead carp (Hypophthalmichthys nobilis). *Food Chemistry*, *133*(4), 1441–1448. https://doi.org/10.1016/j.foodchem. 2012.02.032

Liu, D., Nikoo, M., Boran, G., Zhou, P., & Regenstein, J. M. (2015). Collagen and Gelatin. *Annual Review of Food Science and Technology*, *6*, 527–557.

Liu, Q., Kong, B., Xiong, Y. L., & Xia, X. (2010). Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis. *Food Chemistry*, *118*(2), 403–410. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.013

Muyonga, J. H., Cole, C. G., & Duodu, K. G. (2004). Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (Lates niloticus) skin and bone gelatin. *Food Hydrocolloids*, *18*(4), 581–592.

Ofori, J. A., & Hsieh, Y.-H. P. (2011). Blood-derived products for human consumption. *Revelation and Science*, *01*(01), 14–21.

Onifade, A. A., Al-Sane, N. A., Al-Musallam, A. A., & Al-Zarban, S. (1998). A review: Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. *Bioresource Technology*, *66*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00033-9

Papadopoulos, M. C. (1985). Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine. A review. *Agricultural Wastes*, *14*(4), 275–290. https://doi.org/10.1016/S0141-4607(85)80009-3

Parenteau-Bareil, R., Gauvin, R., & Berthod, F. (2010). Collagen-Based Biomaterials for Tissue Engineering Applications. *Materials*, *3*(3), 1863–1887. https://doi.org/10.3390/ma3031863

Rodrigues, C. V. M., Serricella, P., Linhares, A. B. R., Guerdes, R. M., Borojevic, R., Rossi, M. A., Duarte, M. E. L., & Farina, M. (2003). Characterization of a bovine collagen–hydroxyapatite composite scaffold for bone tissue engineering. *Biomaterials*, *24*(27), 4987–4997. https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00410-1

Routray, W., & Orsat, V. (2012). Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(2), 409–424. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0573-z

Sahni, N., & Phutela, U. G. (2015). Review Article Bacterial keratinases and their prospective applications: A review. In *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (Vol. 4, Number 6). http://www.ijcmas.com

Schrieber, R., & Gareis, H. (2007). *Gelatine Handbook Theory and Industrial Practice*. Wiley-VCH.

Shavandi, A., Silva, T. H., Bekhit, A. A., & Bekhit, A. E.-D. A. (2017). Keratin: dissolution, extraction and biomedical application. *Biomaterials Science*, *5*(9), 1699–1735. https://doi.org/10.1039/C7BM00411G

Shoulders, M. D., & Raines, R. T. (2009). Collagen Structure and Stability. *Annual Review of Biochemistry*, *78*, 929–958.

Sreeram, K. J., & Ramasami, T. (2003). Sustaining tanning process through conservation, recovery and better utilization of chromium. *Resources, Conservation and Recycling*, *38*(3), 185–212. https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00151-9

Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chunilall, V. (2017). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of chemical properties. *Waste Management*, *68*, 626–635. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.050

Thanikaivelan, P., Rao, J. R., Nair, B. U., & Ramasami, T. (2004). Progress and recent trends in biotechnological methods for leather processing. *Trends in Biotechnology*, *22*(4), 181–188. https://doi.org/10.1016/j.tibtech. 2004.02.008

Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *71*, 100–109. https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013

Toldrá, F., Mora, L., & Reig, M. (2016). New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*, *120*, 54–59. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.021

Tongnuanchan, P., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2012). Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin

film incorporated with citrus essential oils. *Food Chemistry*, *134*(3), 1571–1579. https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2012.03.094

UNEP (United Nations Environment Programme). (2002). *Cleaner Production Assessment in Industries*.

Valletregi, M. (2004). Calcium phosphates as substitution of bone tissues. *Progress in Solid State Chemistry*, *32*(1–2), 1–31. https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem. 2004.07.001

Wang, B., Yang, W., McKittrick, J., & Meyers, M. A. (2016). Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. *Progress in Materials Science*, *76*, 229–318. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.06.001

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, *99*(17), 7928–7940. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044

BAB 7
MIKROBIOLOGI DAN KEAMANAN PANGAN HASIL TERNAK

7.1 Ekosistem dan Mikroba Indigenous pada Produk Ternak

Ekosistem mikroba pada produk ternak merupakan suatu lingkungan yang kompleks karena melibatkan berbagai jenis mikroorganisme, seperti bakteri, kapang, dan khamir, yang hidup dan berinteraksi dengan komponen penyusun bahan pangan. Keberadaan mikroorganisme tersebut dapat memberikan dampak yang berbeda terhadap kualitas produk. Sebagian mikroba bersifat patogen dan berpotensi menyebabkan penyakit, sebagian lainnya berperan sebagai mikroba pembusuk yang menurunkan mutu produk, sementara beberapa jenis mikroba justru memberikan manfaat, terutama dalam proses fermentasi. Komposisi dan dinamika ekosistem mikroba pada produk ternak sangat dipengaruhi oleh karakteristik alami bahan pangan serta kondisi lingkungan selama penyimpanan dan penanganan.

Salah satu kelompok mikroorganisme yang umum ditemukan pada produk ternak adalah mikroba indigenous,

yaitu mikroorganisme yang secara alami telah ada pada produk sebelum terjadi kontaminasi dari lingkungan luar. Mikroba ini dapat berasal dari permukaan tubuh hewan, saluran pencernaan, maupun lingkungan yang terlibat dalam proses produksi. Pada daging segar, misalnya, sumber mikroba dapat berasal dari kulit, usus, dan permukaan tubuh hewan, serta dari peralatan dan lingkungan tempat pemotongan dilakukan.

Berbagai jenis mikroorganisme dapat ditemukan pada daging segar dengan tingkat dominasi yang berbeda-beda. Kelompok yang paling sering dijumpai adalah *Pseudomonas spp.*, yang dikenal sebagai bakteri pembusuk utama dan mampu tumbuh dengan baik pada suhu rendah selama penyimpanan dingin. Selain itu, terdapat *Micrococcus spp.*, *Clostridium spp.* yang merupakan bakteri anaerob pembentuk spora, *Lactobacillus spp.* yang banyak ditemukan pada daging yang disimpan dalam kondisi vakum, serta anggota famili *Enterobacteriaceae*. Keberadaan mikroorganisme tersebut didukung oleh karakteristik daging yang memiliki pH mendekati netral, berkisar antara 6,0–6,5, kadar air yang tinggi, serta kandungan protein dan senyawa nitrogen yang melimpah. Kondisi ini menjadikan daging sebagai media yang sangat ideal bagi pertumbuhan dan perkembangan berbagai mikroorganisme, khususnya mikroba pembusuk.

Mikroba indigenous pada susu segar umumnya bersumber dari kulit, pakan, udara, air, peralatan pemerahan dan penyimpanan. Mikroba dominannya adalah *Micrococcus spp.*, *Streptococcus spp.* (misal: *Streptococcus lactis*), *Corynebacterium spp.* Selain itu terdapat pula kontaminan tambahan seperti BAL (Bakteri Asam Laktat): *Lactobacillus*,

Lactococcus, *Escherichia coli*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Bacillus*, dan *Clostridium*.

Pada telur dapat ditemukan sumber mikroba indigenous di kotoran ayam, lingkungan kandang, peralatan, dan lubang telur (pori-pori). Mikroba yang sering ditemukan adalah bakteri pada cangkang yaitu *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, dan *Proteus*, sedangkan mikroba dalam kuning telur jarang ditemukan karena adanya mekanisme antimikroba alami pada putih telur. Putih telur mengandung protein antimikroba seperti lisozim yang dapat menekan pertumbuhan bakteri. Selain itu cangkang telur juga memiliki lapisan kutikula yang melindungi telur dari kontaminasi lingkungan.

7.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan Mikroba

Pertumbuhan mikroba pada produk ternak dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor intrinsik (sifat bahan pangan) dan faktor ekstrinsik (kondisi lingkungan).

7.2.1 Faktor Intrinsik

Faktor Instrinsik adalah sifat fisik, kimia, dan struktur yang melekat langsung pada bahan atau substrat tempat mikroba hidup, yaitu:

a. pH; Mikroba pembusuk tumbuh dengan baik pada pH 6,0–7,5 (netral). Daging segar dengan pH 6,0–6,5 sangat mendukung pertumbuhan *Pseudomonas* dan *Clostridium*. Susu memiliki pH 6,5–6,7, sedangkan telur

memiliki pH putih telur 7,6–9,0 (alkalin) yang kurang ideal untuk beberapa bakteri

b. Aktivitas air (Aw); Nilai aw tinggi (>0,95) pada daging, susu, dan telur mendukung pertumbuhan bakteri. Mikroba membutuhkan air bebas untuk metabolism dan pertumbuhannya.
c. Kandungan Nutrisi; di mana bahan makanan dengan kandungan nutrisi yang kaya akan protein, karbohidrat, mineral, dan vitamin merupakan media pertumbuhan yang sangat ideal untuk mikroba pembusuk.
d. Reaksi Oksidasi-Reduksi (Eh); daging yang dikemas secara vakum (anaerob) dapat mendukung pertumbuhan *Lactobacillus* dan *Clostridium*, sedangkan daging yang dikemas terbuka (aerob) mendukung pertumbuhan *Pseudomonas*.
e. Zat Antimikroba Alami; Lisozim pada putih telur dan lactoferrin pada susu dapat menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk.

7.2.2 Faktor Ekstrinsik

Faktor ekstrinsik adalah kondisi lingkungan luar tempat substrat berada yang sangat memengaruhi aktivitas metabolisme mikroba, yaitu :

a. Suhu penyimpanan, suhu tinggi (>25°C) mempercepat pertumbuhan mikroba pembusuk.
b. Kelembapan relatif (RH), kelembapan relatif yang tinggi (>85%) meningkatkan risiko pertumbuhan mikroba pembusuk pada permukaan daging dan telur, terutama bakteri.

c. Atmosfer penyimpanan, dalam kondisi vakum atau anaerob dapat memicu pertumbuhan bakteri Lactobacillus dan Clostridium; sementara dalam kondisi aerob mendukung pertumbuhan bakteri Pseudomonas dan Micrococcus.
d. Aktivitas mikroba lain, mikroba menguntungkan seperti Bakteri Asam Laktat (BAL) dapat menekan mikroba patogen melalui produksi asam laktat.

7.3 Peran Mikroba Menguntungkan dalam Fermentasi Hasil Ternak

Fermentasi berbasis mikroba telah lama diakui sebagai salah satu strategi pengolahan pangan yang efektif dalam meningkatkan keamanan, umur simpan, nilai nutrisi, sekaligus cita rasa produk asal ternak. Efektivitas ini tidak lepas dari beragam aktivitas metabolisme yang dijalankan oleh mikroorganisme terpilih selama proses fermentasi berlangsung.

Pada produk daging fermentasi seperti ham dan salami, sejumlah spesies bakteri berperan sebagai starter culture utama, di antaranya *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus cerevisiae*, dan *Staphylococcus xylosus*. Ketiga spesies ini secara aktif memproduksi asam laktat yang menyebabkan penurunan pH matriks daging secara bertahap. Kondisi asam yang terbentuk tidak hanya berfungsi sebagai barier terhadap pertumbuhan bakteri patogen, tetapi juga menjadi fondasi bagi terbentuknya karakteristik organoleptik produk. Enzim proteolitik yang dihasilkan selama fermentasi berkontribusi terhadap penguraian protein struktural daging,

menghasilkan peptida dan asam amino bebas yang menjadi prekursor flavor dan perbaikan tekstur. Selain itu, aktivitas nitrat reduktase yang dimiliki mikroba ini berperan penting dalam mempertahankan stabilitas pigmen daging, sehingga warna merah khas produk tetap terjaga.

Dalam fermentasi susu, mekanisme yang bekerja memiliki kerumitan tersendiri. Produksi yogurt, keju, maupun susu asam melibatkan kultur campuran mikroba yang disesuaikan dengan karakteristik produk akhir yang diinginkan. *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* dikenal bekerja secara sinergis dalam fermentasi yogurt, *Lactococcus lactis* dominan pada pembuatan keju, sementara *Saccharomyces cerevisiae* terlibat pada beberapa varietas keju untuk menghasilkan citarasa khas dan flavor tertentu. Secara umum, perubahan laktosa menjadi asam laktat oleh mikroba-mikroba ini menjadi mekanisme pengawetan alami yang andal. Lebih jauh, biosintesis vitamin B12 dan folat serta produksi asam amino esensial menjadikan produk susu fermentasi tidak sekadar lebih aman, tetapi juga lebih bernilai secara gizi. Kemampuan kompetitif mikroba ini dalam menekan pertumbuhan patogen seperti *E. coli* dan *Salmonella* turut memperkuat posisinya sebagai agen pengawet yang relevan.

Meskipun skalanya lebih terbatas, aplikasi fermentasi pada produk telur — khususnya dalam produksi telur asam menggunakan *Lactobacillus* — menunjukkan bahwa pendekatan biopreservasi ini sesungguhnya dapat diadaptasi ke berbagai matriks pangan hewani, membuka peluang eksplorasi yang masih terbuka lebar.

7.4 Mikroba Perusak dan Kerusakan Pangan Hasil Ternak

Pangan hasil ternak seperti daging, susu, telur, dan produk olahannya merupakan bahan pangan yang kaya protein, lemak, vitamin, dan mineral. Kandungan nutrisi yang tinggi tersebut menjadikan produk ternak sangat rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme perusak. Mikroorganisme ini memanfaatkan zat gizi dalam pangan sebagai sumber energi dan nutrisi sehingga menyebabkan penurunan mutu, perubahan sifat fisik, kimia, dan organoleptik, serta memperpendek umur simpan produk.

Kerusakan pangan akibat mikroorganisme berbeda dengan kontaminasi oleh mikroorganisme patogen. Mikroorganisme perusak umumnya tidak selalu menyebabkan penyakit, tetapi aktivitas metabolismenya menghasilkan berbagai perubahan yang menyebabkan pangan tidak layak dikonsumsi. Perubahan tersebut dapat berupa perubahan bau, rasa, tekstur, maupun penampilan produk sehingga menurunkan mutu dan daya terima konsumen.

7.4.1. Mikroba Perusak pada Pangan Hasil Ternak

Mikroorganisme yang berperan dalam kerusakan pangan hasil ternak terdiri atas bakteri, kapang, dan khamir. Masing-masing kelompok memiliki karakteristik serta mekanisme kerusakan yang berbeda.

a. Bakteri Perusak

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme yang paling sering menyebabkan pembusukan pada produk ternak. Salah satu bakteri yang umum

ditemukan adalah *Pseudomonas spp.*, yaitu bakteri Gram-negatif aerob yang dominan pada daging dan unggas yang disimpan pada suhu dingin antara 0–10°C. Bakteri ini bersifat psikrotrof sehingga mampu tumbuh pada suhu rendah. Selain itu, *Pseudomonas spp.* menghasilkan enzim protease dan lipase yang menyebabkan degradasi protein dan lemak. Aktivitas bakteri ini dapat menimbulkan pembentukan lendir pada permukaan daging, perubahan warna, serta munculnya bau asam atau bau busuk. Spesies yang sering ditemukan antara lain *Pseudomonas fluorescens* dan *Pseudomonas fragi*. Bakteri lain yang sering ditemukan pada daging segar dan produk daging yang dikemas vakum adalah *Brochothrix thermosphacta*. Mikroorganisme ini menyebabkan terbentuknya bau asam, perubahan cita rasa, serta penurunan kualitas sensoris produk.

Pada produk yang dikemas vakum atau menggunakan atmosfer termodifikasi, sering ditemukan bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus spp.*. Bakteri ini menghasilkan asam laktat yang menyebabkan penurunan pH produk dan menimbulkan rasa asam.

Shewanella putrefaciens merupakan bakteri yang umum ditemukan pada ikan dan daging yang disimpan dalam kondisi dingin. Bakteri ini menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S) yang menyebabkan bau telur busuk serta perubahan warna produk menjadi kehijauan.

Kelompok bakteri anaerob pembentuk spora seperti *Clostridium spp.*, khususnya *Clostridium*

sporogenes, juga berperan dalam kerusakan pangan. Aktivitas bakteri ini dapat menyebabkan pembusukan anaerob, pembentukan gas, dan penggembungan kemasan. Selain itu, *Bacillus spp.* merupakan bakteri pembentuk spora yang tahan terhadap panas. Mikroorganisme ini sering menyebabkan kerusakan pada susu pasteurisasi dan produk daging olahan dengan menghasilkan lendir serta bau yang tidak normal.

b. Kapang

Kapang merupakan jamur multiseluler yang tumbuh pada permukaan pangan, terutama pada kondisi kelembapan tinggi dan penyimpanan yang berlangsung lama. *Penicillium spp.* dapat tumbuh membentuk koloni berwarna hijau atau biru pada permukaan produk. Pertumbuhannya menyebabkan munculnya bau apek serta perubahan warna dan tekstur pangan. *Aspergillus spp.* sering membentuk miselium pada permukaan produk dan menurunkan kualitas sensoris pangan. Beberapa spesies dalam kelompok ini juga mampu menghasilkan mikotoksin yang berpotensi membahayakan kesehatan. Kapang *Mucor spp.* membentuk miselium putih menyerupai kapas dan menyebabkan pelunakan bahan pangan. Sementara itu, *Rhizopus spp.* menyebabkan pembusukan lunak (*soft rot*) yang merusak struktur jaringan produk.

c. Khamir (*Yeasts*)

Khamir merupakan jamur uniseluler yang mampu tumbuh pada produk ternak dengan kadar air

tinggi. Salah satu khamir yang sering ditemukan adalah *Candida spp.*, yang menyebabkan perubahan rasa serta membentuk lapisan tipis pada permukaan produk. *Debaryomyces spp.* banyak ditemukan pada produk daging dan keju. Pertumbuhan khamir ini dapat menghasilkan aroma yang tidak diinginkan serta menyebabkan perubahan warna produk. Khamir *Yarrowia lipolytica* memiliki kemampuan menguraikan lemak sehingga menimbulkan bau tengik pada produk pangan.

7.4.2 Mekanisme Biokimia Kerusakan Pangan Hasil Ternak

Kerusakan mikrobiologis terjadi karena mikroorganisme menghasilkan berbagai enzim yang mampu memecah komponen utama pangan, terutama protein, lemak, dan karbohidrat. Beberapa mekanisme biokimia yang terjadi selama kerusakan bahan pangan hasil ternak antara lain :

a. Proteolisis (Pemecahan Protein)

Protein merupakan komponen utama dalam daging, susu, dan telur. Pada proses proteolisis, mikroorganisme menghasilkan enzim protease yang menghidrolisis protein menjadi peptida, kemudian menjadi asam amino, dan selanjutnya diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana. Asam amino yang terbentuk mengalami proses deaminasi dan dekarboksilasi sehingga menghasilkan berbagai senyawa seperti amonia (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S), indol, skatol, putresin, dan kadaverin. Pembentukan senyawa-senyawa tersebut menyebabkan timbulnya bau busuk yang menyengat, peningkatan pH, pelunakan jaringan,

serta penurunan nilai gizi produk. Sebagai contoh, *Pseudomonas spp.* mampu memecah protein daging menjadi berbagai senyawa volatil yang berbau busuk.

b. Lipolisis (Pemecahan Lemak)

Lemak merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme tertentu. Pada proses lipolisis, enzim lipase menghidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Selanjutnya, asam lemak bebas mengalami oksidasi dan menghasilkan berbagai senyawa seperti aldehida, keton, alkohol, dan peroksida. Proses ini menyebabkan munculnya bau tengik (*rancidity*), perubahan rasa, serta penurunan kualitas gizi produk. Mikroorganisme seperti *Yarrowia lipolytica* dan *Pseudomonas spp.* diketahui menghasilkan enzim lipase yang mempercepat terjadinya ketengikan. Kecepatan lipolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain suhu penyimpanan, aktivitas air (*water activity*), pH produk, ketersediaan oksigen, dan jumlah mikroorganisme pembusuk. Semakin tinggi suhu penyimpanan dan populasi mikroorganisme, semakin cepat proses hidrolisis lemak berlangsung.

c. Fermentasi Karbohidrat

Meskipun kandungan karbohidrat pada produk ternak relatif rendah, laktosa yang terdapat dalam susu dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Laktosa difermentasi menjadi asam laktat dan berbagai senyawa volatil lainnya. Akibatnya terjadi penurunan pH, timbul rasa asam, serta penggumpalan susu.

d. Pembentukan Gas

Beberapa bakteri menghasilkan gas seperti karbon dioksida (CO_2), hidrogen (H_2), dan metana (CH_4) selama

proses metabolisme. Pembentukan gas ini dapat menyebabkan penggembungan kemasan, perubahan tekstur produk, serta kerusakan pada produk yang dikemas vakum.

7.4.3 Penurunan Kualitas Produk Ternak Secara Mikrobiologis

Penurunan kualitas produk ternak akibat aktivitas mikroorganisme umumnya berlangsung melalui beberapa tahapan.

Tahap pertama adalah kontaminasi, yaitu masuknya mikroorganisme ke dalam produk melalui berbagai sumber seperti kulit hewan, saluran pencernaan, udara, air, peralatan pengolahan, maupun pekerja yang terlibat dalam proses produksi.

Tahap berikutnya adalah adaptasi, yaitu fase ketika mikroorganisme menyesuaikan diri dengan lingkungan produk. Faktor yang memengaruhi proses adaptasi meliputi suhu penyimpanan, pH, aktivitas air, dan ketersediaan oksigen.

Setelah berhasil beradaptasi, mikroorganisme memasuki fase pertumbuhan dan berkembang biak secara eksponensial. Jumlah mikroba dapat meningkat dari sekitar 10^2–10^3 CFU/g menjadi lebih dari 10^7 CFU/g. Pada tingkat ini, gejala pembusukan mulai terlihat secara nyata.

Tahap terakhir adalah pembusukan. Pada fase ini mikroorganisme menghasilkan berbagai metabolit yang menyebabkan timbulnya bau busuk, pembentukan lendir, diskolorasi, ketengikan, serta pelunakan tekstur produk.

7.4.4 Indikator Organoleptik Pembusukan

Indikator organoleptik merupakan metode sederhana untuk mendeteksi pembusukan dengan menggunakan indera manusia.

Perubahan bau merupakan salah satu indikator yang paling mudah diamati. Produk segar memiliki aroma khas yang normal, sedangkan produk yang mengalami pembusukan akan menunjukkan bau amonia, bau sulfur, bau asam, atau bau tengik.

Perubahan warna juga menjadi indikator penting. Daging segar umumnya berwarna merah cerah, sedangkan daging yang mengalami pembusukan dapat berubah menjadi cokelat, abu-abu, atau kehijauan. Pada susu, pembusukan dapat menyebabkan perubahan warna menjadi kekuningan atau warna lain yang tidak normal.

Perubahan tekstur dapat diamati melalui penurunan kekencangan produk. Produk segar biasanya memiliki tekstur kenyal dan padat, sedangkan produk yang rusak cenderung menjadi lunak, berlendir, dan lengket. Selain itu, perubahan rasa seperti rasa asam, pahit, tengik, atau rasa yang tidak normal juga menunjukkan adanya kerusakan pada produk pangan.

7.4.5 Indikator Kimiawi Pembusukan

Analisis kimia digunakan untuk mendeteksi kerusakan pangan secara lebih objektif dan akurat. Salah satu parameter yang sering digunakan adalah *Total Volatile Base Nitrogen* (TVB-N). Parameter ini mengukur jumlah senyawa basa

volatil hasil degradasi protein, seperti amonia, dimetilamin, dan trimetilamin. Peningkatan nilai TVB-N menunjukkan bahwa proses pembusukan telah berlangsung.

Parameter lain yang sering digunakan adalah pengukuran pH. Pada pembusukan protein, pH cenderung meningkat akibat pembentukan amonia. Sebaliknya, pada proses fermentasi, pH menurun karena terbentuknya berbagai asam organik.

Analisis *Thiobarbituric Acid* (TBA) digunakan untuk mengukur tingkat oksidasi lemak. Nilai TBA yang tinggi menunjukkan terjadinya ketengikan dan kerusakan lipid pada produk. Selain TBA, *Peroxide Value* (PV) juga digunakan untuk menentukan jumlah peroksida yang terbentuk akibat oksidasi lemak. Semakin tinggi nilai PV, semakin besar tingkat kerusakan lemak yang terjadi.

Parameter terakhir adalah kadar amonia. Amonia merupakan salah satu hasil utama dekomposisi protein oleh mikroorganisme. Peningkatan kadar amonia menunjukkan tingginya aktivitas mikroba pembusuk dan menandakan penurunan kualitas produk pangan hasil ternak.

7.5 Patogen Pangan (*Foodborne Pathogens*) Utama pada Produk Ternak

Produk ternak seperti daging, susu, telur, dan produk olahannya merupakan sumber pangan bergizi tinggi yang berperan penting dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat. Namun, kandungan nutrien yang tinggi serta kadar air yang relatif besar menjadikan produk-produk tersebut rentan terhadap kontaminasi mikroorganisme

patogen. Mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit melalui konsumsi pangan dikenal sebagai *foodborne pathogens* atau patogen pangan. Keberadaan patogen dalam produk ternak menjadi perhatian utama dalam bidang keamanan pangan karena dapat menimbulkan penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*) yang berdampak pada kesehatan masyarakat, produktivitas ekonomi, serta sistem kesehatan secara luas (Jay dkk.2005).

Patogen pangan berbeda dengan mikroba perusak (*spoilage microorganisms*). Mikroba perusak umumnya menyebabkan perubahan bau, rasa, warna, dan tekstur sehingga kerusakan pangan dapat dikenali secara langsung. Sebaliknya, patogen pangan sering kali tidak menyebabkan perubahan organoleptik yang nyata sehingga produk yang tampak segar dan layak konsumsi tetap dapat mengandung mikroorganisme berbahaya (Adams & Moss, 2008). Di antara berbagai patogen pangan yang terkait dengan produk ternak, bakteri merupakan kelompok yang paling sering menyebabkan kasus penyakit pada manusia, terutama *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* galur enterohemoragik (EHEC/STEC), *Listeria monocytogenes*, dan *Campylobacter spp.*

7.5.1 *Salmonella spp.*

Bakteri *Salmonella spp.* merupakan bakteri Gram-negatif berbentuk batang yang termasuk ke dalam famili Enterobacteriaceae. Bakteri ini bersifat fakultatif anaerob dan mampu bertahan pada berbagai kondisi lingkungan. Habitat utamanya adalah saluran pencernaan hewan dan manusia sehingga kontaminasi pangan umumnya terjadi melalui kontak dengan feses selama proses pemeliharaan,

penyembelihan, pengolahan, maupun distribusi produk ternak (D'Aoust & Maurer, 2007).

Secara epidemiologis, salmonellosis merupakan salah satu penyakit zoonosis yang paling banyak dilaporkan di dunia. Produk unggas dan telur sering diidentifikasi sebagai sumber utama infeksi, meskipun daging sapi, susu mentah, dan produk olahannya juga dapat berperan sebagai media penularan. Organisasi Kesehatan Dunia menyebutkan bahwa infeksi *Salmonella* non-tifoid menyebabkan jutaan kasus gastroenteritis setiap tahun dan menjadi penyebab penting rawat inap akibat penyakit bawaan pangan (WHO, 2023).

Patogenesis *Salmonella* dimulai ketika bakteri tertelan melalui pangan yang terkontaminasi. Bakteri kemudian menginvasi sel epitel usus dan memicu respons inflamasi yang menyebabkan gejala seperti diare, demam, nyeri perut, mual, dan muntah. Pada individu dengan sistem imun yang lemah, infeksi dapat berkembang menjadi bakteremia dan menyebar ke organ lain sehingga menimbulkan komplikasi yang lebih serius (Doyle & Buchanan, 2013).

7.5.2 *Escherichia coli Enterohemoragik (EHEC/STEC)*

Bakteri *Escherichia coli* merupakan anggota flora normal saluran pencernaan manusia dan hewan. Akan tetapi, beberapa galur memiliki faktor virulensi yang mampu menyebabkan penyakit. Salah satu kelompok yang paling berbahaya adalah *Shiga Toxin-Producing Escherichia coli* (STEC), khususnya galur *E. coli* O157:H7 yang juga dikenal sebagai *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC) (Kaper dkk.2004).

Sapi dan ruminansia lainnya merupakan reservoir utama EHEC/STEC. Bakteri hidup dalam saluran pencernaan

hewan tanpa menimbulkan gejala klinis, tetapi dapat mencemari karkas selama proses penyembelihan. Selain daging sapi, susu mentah dan produk olahan yang tidak dipasteurisasi juga dapat menjadi sumber infeksi. Secara epidemiologis, EHEC/STEC menjadi perhatian global karena dosis infektifnya sangat rendah; konsumsi kurang dari seratus sel bakteri dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Feng dkk.2017).

Infeksi EHEC/STEC ditandai dengan diare yang awalnya berair kemudian berkembang menjadi diare berdarah akibat kerusakan mukosa usus oleh toksin Shiga. Pada kasus yang berat, terutama pada anak-anak dan lansia, dapat terjadi *Hemolytic Uremic Syndrome* (HUS), yaitu komplikasi serius yang ditandai dengan anemia hemolitik, trombositopenia, dan gagal ginjal akut (Nataro & Kaper, 1998). Tingkat fatalitas HUS menjadikan EHEC sebagai salah satu patogen pangan yang paling ditakuti dalam industri pangan asal ternak.

7.5.3 *Listeria monocytogenes*

Bakteri *Listeria monocytogenes* merupakan bakteri Gram-positif berbentuk batang yang memiliki kemampuan unik untuk tumbuh pada suhu refrigerasi. Karakteristik ini membedakannya dari sebagian besar bakteri patogen lain dan menjadikannya ancaman serius bagi produk pangan yang disimpan dalam kondisi dingin, termasuk susu, keju lunak, daging olahan, dan makanan siap santap (*ready-to-eat foods*) (Ryser & Marth, 2007).

Meskipun jumlah kasus listeriosis relatif lebih sedikit dibandingkan salmonellosis atau campylobacteriosis, tingkat kematian akibat infeksi ini tergolong tinggi. Kelompok yang

paling rentan adalah ibu hamil, bayi baru lahir, lansia, dan individu dengan sistem imun yang lemah. Bakteri mampu menembus dinding usus dan menyebar melalui aliran darah menuju organ-organ vital, termasuk sistem saraf pusat dan plasenta pada wanita hamil (Farber & Peterkin, 1991).

Gejala klinis listeriosis dapat berupa demam, nyeri otot, mual, dan diare pada tahap awal. Pada kasus invasif, infeksi dapat berkembang menjadi meningitis, ensefalitis, septikemia, bahkan menyebabkan keguguran atau kematian janin pada ibu hamil. Tingginya tingkat mortalitas menyebabkan *L. monocytogenes* menjadi salah satu patogen yang mendapat perhatian khusus dalam regulasi keamanan pangan internasional (Swaminathan & Gerner-Smidt, 2007).

7.5.4 *Campylobacter spp.*

Bakteri *Campylobacter spp.*, terutama *Campylobacter jejuni* dan *Campylobacter coli*, merupakan bakteri Gram-negatif berbentuk spiral yang termasuk penyebab utama gastroenteritis bakterial di dunia. Bakteri ini bersifat mikroaerofilik dan banyak ditemukan dalam saluran pencernaan unggas, sapi, kambing, dan berbagai hewan ternak lainnya (Humphrey dkk.2007).

Secara epidemiologis, unggas merupakan reservoir utama *Campylobacter*. Kontaminasi umumnya terjadi selama proses pemotongan dan pengolahan karkas ayam. Berbagai survei menunjukkan bahwa prevalensi bakteri ini pada unggas hidup maupun karkas dapat mencapai tingkat yang tinggi, sehingga produk unggas sering diidentifikasi sebagai sumber utama campylobacteriosis pada manusia (Silva dkk.2011).

Infeksi *Campylobacter* biasanya menyebabkan diare, nyeri abdomen, demam, sakit kepala, dan malaise. Pada beberapa kasus, diare dapat disertai darah akibat kerusakan mukosa usus. Walaupun sebagian besar penderita sembuh tanpa pengobatan khusus, infeksi ini dapat memicu komplikasi pascainfeksi berupa *Guillain-Barré Syndrome* (GBS), yaitu gangguan autoimun yang menyerang sistem saraf perifer dan dapat menyebabkan kelumpuhan sementara (Nachamkin, 2002).

7.5.5 Gejala Klinis Foodborne Diseases: Infeksi dan Intoksikasi

Penyakit bawaan pangan secara umum dapat dibedakan menjadi infeksi pangan dan intoksikasi pangan. Infeksi pangan terjadi ketika mikroorganisme hidup masuk ke dalam tubuh melalui makanan dan kemudian berkembang biak dalam saluran pencernaan atau jaringan tubuh lainnya. Patogen seperti *Salmonella spp.*, EHEC/STEC, *Listeria monocytogenes*, dan *Campylobacter spp.* termasuk kelompok penyebab infeksi pangan. Gejala yang muncul biasanya berupa diare, nyeri perut, demam, mual, muntah, dan dalam kasus tertentu dapat berkembang menjadi komplikasi sistemik yang serius (Forsythe, 2020).

Sebaliknya, intoksikasi pangan terjadi akibat konsumsi toksin yang telah diproduksi mikroorganisme dalam pangan sebelum makanan dikonsumsi. Pada kondisi ini, keberadaan mikroorganisme hidup tidak selalu diperlukan untuk menimbulkan penyakit. Contoh yang umum adalah enterotoksin yang dihasilkan oleh *Staphylococcus aureus* dan neurotoksin yang diproduksi oleh *Clostridium botulinum*. Gejala intoksikasi biasanya muncul lebih cepat dibandingkan

infeksi, sering kali dalam beberapa jam setelah konsumsi pangan, dan ditandai dengan mual, muntah, kram perut, diare, serta gangguan neurologis pada kasus botulisme (Jay dkk.2005).

Salah satu kasus kontaminasi pangan yang paling terkenal terjadi di Amerika Serikat pada tahun 1993, ketika wabah *E. coli* O157:H7 dikaitkan dengan konsumsi hamburger yang kurang matang dari jaringan restoran cepat saji. Wabah tersebut menyebabkan lebih dari 700 orang sakit dan empat anak meninggal dunia. Kasus ini menjadi titik balik dalam pengembangan sistem keamanan pangan modern, khususnya penerapan Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) pada industri daging (Bell dkk.1994).

Kasus lain yang mendapat perhatian global adalah wabah listeriosis di Afrika Selatan pada tahun 2017–2018. Wabah tersebut dikaitkan dengan konsumsi produk daging olahan siap santap dan mengakibatkan lebih dari 1.000 kasus terkonfirmasi dengan lebih dari 200 kematian. Wabah ini merupakan salah satu kejadian listeriosis terbesar yang pernah tercatat di dunia dan menunjukkan tingginya risiko kontaminasi *L. monocytogenes* pada produk siap konsumsi (Smith dkk.2019).

Di Indonesia, berbagai penelitian menunjukkan adanya kontaminasi *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, dan *Campylobacter spp.* pada daging ayam, daging sapi, telur, serta susu segar yang dipasarkan di beberapa daerah. Kontaminasi tersebut umumnya berkaitan dengan sanitasi yang belum optimal pada rumah potong hewan, proses distribusi, serta praktik higiene yang kurang memadai selama penanganan pangan. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa pengawasan mikrobiologis produk ternak masih menjadi

tantangan penting dalam menjamin keamanan pangan nasional (BPOM RI, 2022).

7.6 Sumber Kontaminasi Patogen pada Produk Ternak

Kontaminasi mikrobiologis pada pangan dapat terjadi di sepanjang rantai pasok, mulai dari tahap produksi primer di peternakan (farm) hingga pangan dikonsumsi oleh konsumen (table). Mikroorganisme patogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, dan *Campylobacter spp.* dapat masuk ke produk pangan melalui berbagai sumber dan tahapan proses.

Pada tingkat *on-farm*, kontaminasi primer merupakan tahap awal masuknya mikroorganisme patogen ke dalam rantai pangan. Salah satu sumber utama adalah pakan ternak yang terkontaminasi bakteri, jamur, atau parasit. Pakan yang disimpan dalam kondisi lembap dapat menjadi media pertumbuhan mikroorganisme berbahaya yang kemudian menginfeksi hewan ternak (FAO & WHO, 2023). Selain pakan, air minum ternak yang berasal dari sumber yang tercemar limbah domestik atau kotoran hewan juga berpotensi menjadi media penyebaran patogen. Air yang tidak memenuhi standar sanitasi dapat mengandung *E. coli*, *Salmonella*, maupun mikroorganisme zoonotik lainnya (Jay dkk.2005).

Sumber kontaminasi primer lainnya adalah feses hewan. Banyak patogen enterik hidup secara alami dalam saluran pencernaan hewan tanpa menimbulkan gejala penyakit. Feses yang mencemari lantai kandang, tempat pakan, atau sumber air dapat meningkatkan risiko

penyebaran mikroorganisme ke hewan lain maupun ke produk pangan asal hewan (Oliver dkk.2005). Selain itu, lingkungan kandang seperti tanah, debu, peralatan, serangga, burung liar, dan pekerja peternakan juga dapat berperan sebagai reservoir mikroorganisme. Sanitasi kandang yang buruk akan meningkatkan peluang terjadinya kontaminasi sebelum proses produksi berlangsung.

Setelah tahap produksi primer, resiko kontaminasi berlanjut melalui kontaminasi sekunder selama proses pengolahan. Pada proses pemotongan hewan, kontaminasi dapat terjadi ketika isi saluran pencernaan atau feses bersentuhan dengan karkas akibat teknik penyembelihan yang tidak higienis. Peralatan seperti pisau, meja pemotongan, dan tangan pekerja yang tidak disanitasi dengan baik dapat menjadi media transfer mikroorganisme ke daging (Buncic & Sofos, 2012). Pada proses pemerahan susu, ambing yang kotor, peralatan pemerahan yang tidak higienis, dan kualitas air pencuci yang buruk dapat menyebabkan kontaminasi bakteri patogen maupun bakteri pembusuk ke dalam susu mentah (Oliver dkk.2005).

Tahap transportasi dan distribusi juga memiliki kontribusi penting terhadap peningkatan risiko kontaminasi. Kendaraan pengangkut yang tidak dibersihkan secara rutin dapat menjadi sumber mikroorganisme. Selain itu, kegagalan menjaga suhu rantai dingin (*cold chain*) memungkinkan pertumbuhan cepat bakteri patogen dan mikroorganisme pembusuk selama penyimpanan dan pengiriman produk pangan (ICMSF, 2005). Kontaminasi dapat semakin meningkat ketika produk mentah dan produk siap konsumsi diangkut atau disimpan secara bersamaan tanpa pemisahan yang memadai.

Pada tingkat retail dan rumah tangga, faktor yang paling berperan adalah *cross-contamination* atau kontaminasi silang. Kontaminasi silang terjadi ketika mikroorganisme berpindah dari bahan pangan mentah, peralatan, permukaan kerja, atau tangan manusia ke pangan siap konsumsi. Misalnya, penggunaan talenan yang sama untuk memotong daging mentah dan sayuran tanpa pencucian yang memadai dapat memindahkan *Salmonella* atau *Campylobacter* ke makanan yang tidak akan dimasak lagi (WHO, 2022). Di rumah tangga, praktik penyimpanan yang tidak tepat, pencairan bahan beku pada suhu ruang, serta kebersihan tangan yang buruk juga meningkatkan risiko terjadinya kontaminasi silang. Oleh karena itu, penerapan prinsip higiene dan sanitasi yang baik pada setiap tahapan rantai pasok merupakan langkah utama dalam mencegah penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*).

7.7 Strategi Pengendalian dan Pengawetan Mikrobiologis

Strategi pengendalian dan pengawetan mikrobiologis merupakan upaya untuk menghambat pertumbuhan, mengurangi jumlah, atau mematikan mikroorganisme patogen dan mikroorganisme pembusuk dalam pangan sehingga keamanan, mutu, dan umur simpan produk dapat dipertahankan. Berbagai teknologi telah dikembangkan, mulai dari metode termal, nontermal, penggunaan antimikroba alami, teknologi pengemasan, hingga pendekatan kombinasi yang dikenal sebagai *hurdle technology*.

7.7.1 Aplikasi Teknologi Termal

Teknologi termal merupakan metode pengawetan yang paling banyak digunakan dalam industri pangan karena efektif dalam menginaktivasi mikroorganisme patogen dan enzim perusak. Dua metode utama yang digunakan adalah pasteurisasi dan sterilisasi.

Pasteurisasi merupakan proses pemanasan pada suhu di bawah titik didih air untuk mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tanpa menyebabkan perubahan besar pada karakteristik sensori pangan. Contohnya adalah metode *High Temperature Short Time* (HTST) pada susu dengan suhu sekitar 72°C selama 15 detik. Pasteurisasi efektif menurunkan populasi mikroorganisme seperti *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, dan *Mycobacterium tuberculosis*, namun tidak membunuh seluruh spora bakteri (Fellows, 2017).

Sementara itu, sterilisasi menggunakan suhu yang lebih tinggi, umumnya di atas 100°C, untuk menghancurkan seluruh mikroorganisme vegetatif maupun spora bakteri. Pada industri pangan kaleng, sterilisasi komersial dilakukan untuk mengendalikan bakteri pembentuk spora seperti *Clostridium botulinum* yang berpotensi menghasilkan toksin mematikan. Produk yang telah disterilisasi umumnya dapat disimpan pada suhu ruang dalam jangka waktu yang lama (Jay dkk.2005).

7.7.2 Teknologi Non-Termal

Perkembangan teknologi pangan mendorong penggunaan metode non-termal yang mampu menjaga kualitas nutrisi dan sifat sensori produk lebih baik

dibandingkan pemanasan konvensional. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah radiasi pangan. Teknologi ini memanfaatkan sinar gamma, sinar-X, atau berkas elektron untuk merusak DNA mikroorganisme sehingga tidak mampu berkembang biak. Radiasi efektif mengendalikan bakteri patogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, dan *Listeria monocytogenes* tanpa meningkatkan suhu produk secara signifikan (Diehl, 2002).

Metode non-termal lainnya adalah High-Pressure Processing (HPP) atau pemrosesan tekanan tinggi. Teknologi ini menggunakan tekanan hidrostatik sangat tinggi (300–600 MPa) untuk merusak membran sel dan sistem metabolisme mikroorganisme. HPP banyak diterapkan pada jus buah, produk daging siap saji, dan makanan laut karena mampu memperpanjang umur simpan sambil mempertahankan warna, rasa, dan kandungan gizi produk (Balasubramaniam dkk.2015).

7.7.3 Penggunaan Antimikroba Alami

Meningkatnya permintaan konsumen terhadap pangan alami mendorong pemanfaatan senyawa antimikroba alami sebagai alternatif pengawet sintetis. Salah satu antimikroba alami yang banyak digunakan adalah bakteriosin, yaitu senyawa protein antimikroba yang diproduksi oleh bakteri asam laktat. Contoh yang paling dikenal adalah nisin, yang efektif menghambat bakteri Gram positif seperti *Listeria monocytogenes* dan *Clostridium botulinum*. Nisin telah digunakan secara luas dalam produk susu, makanan kaleng, dan produk olahan daging (Cleveland dkk., 2001).

Selain bakteriosin, minyak atsiri (essential oils) yang berasal dari tumbuhan seperti oregano, thyme, cengkeh, kayu

manis, dan serai memiliki aktivitas antimikroba yang kuat. Senyawa aktif seperti karvakrol, timol, eugenol, dan sinamaldehida mampu merusak membran sel mikroorganisme sehingga menghambat pertumbuhannya. Penggunaan minyak atsiri semakin berkembang sebagai bagian dari konsep *clean label food preservation* (Burt, 2004).

7.7.4 Teknologi Pengemasan dengan Modified Atmosphere Packaging (MAP)

Modified Atmosphere Packaging (MAP) merupakan teknologi pengemasan yang memodifikasi komposisi gas di dalam kemasan untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dan proses kerusakan pangan. Pada sistem MAP, kadar oksigen biasanya diturunkan dan digantikan dengan karbon dioksida (CO_2) atau nitrogen (N_2).

Karbon dioksida memiliki efek bakteriostatik dan fungistatik yang mampu menghambat pertumbuhan berbagai bakteri pembusuk dan kapang. Teknologi ini banyak diterapkan pada produk daging segar, unggas, ikan, buah, dan sayuran segar. Efektivitas MAP biasanya dikombinasikan dengan penyimpanan suhu rendah untuk menghasilkan umur simpan yang lebih panjang (Robertson, 2016).

7.7.5 Prinsip *Hurdle Technology*

Hurdle Technology merupakan konsep pengawetan yang mengombinasikan beberapa metode pengendalian mikroba secara simultan sehingga menghasilkan efek sinergis yang lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan satu metode saja. Istilah *hurdle* mengacu pada "rintangan" yang harus dilalui mikroorganisme agar dapat bertahan hidup dalam produk pangan.

Berbagai faktor yang dapat digunakan sebagai *hurdle* meliputi suhu tinggi atau rendah, penurunan pH, penurunan aktivitas air (*water activity*), penggunaan pengawet alami, pengemasan MAP, maupun teknologi non-termal. Sebagai contoh, produk daging fermentasi dapat diawetkan melalui kombinasi penurunan pH, penurunan aktivitas air, penggunaan kultur starter, dan penyimpanan dingin. Kombinasi tersebut menciptakan lingkungan yang tidak menguntungkan bagi pertumbuhan mikroorganisme patogen maupun pembusuk (Leistner & Gould, 2002).

Pendekatan ini menjadi salah satu strategi paling efektif dalam industri pangan modern karena mampu meningkatkan keamanan pangan, mempertahankan kualitas sensori, dan mengurangi kebutuhan penggunaan pengawet kimia dalam jumlah besar.

7.8 Sistem Manajemen Keamanan Pangan dan Regulasi Terkini

Keamanan pangan merupakan aspek penting dalam sistem produksi pangan modern yang bertujuan melindungi konsumen dari bahaya biologis, kimia, dan fisik yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Dalam konteks pangan asal hewan, pengendalian keamanan pangan harus dilakukan secara menyeluruh sepanjang rantai pasok (*farm-to-table*), mulai dari budidaya, pengolahan, distribusi, hingga konsumsi. Untuk mencapai tujuan tersebut, berbagai sistem manajemen keamanan pangan telah dikembangkan dan diadopsi secara global, antara lain *Good Farming Practices* (GFP), *Good*

Manufacturing Practices (GMP), dan *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP). Di Indonesia, implementasi sistem tersebut diperkuat oleh persyaratan sertifikasi seperti Halal dan Nomor Kontrol Veteriner (NKV) serta berbagai regulasi mengenai batas maksimum cemaran mikroba yang mengacu pada standar nasional maupun internasional.

7.8.1 *Good Farming Practices* (GFP)

Good Farming Practices (GFP) merupakan serangkaian pedoman budidaya yang bertujuan untuk menjamin bahwa produk primer yang dihasilkan aman, sehat, dan berkualitas. GFP berfokus pada pengendalian risiko sejak tahap produksi di peternakan sehingga dapat mencegah masuknya bahaya biologis, kimia, maupun fisik ke dalam rantai pangan. Pada sektor peternakan, penerapan GFP mencakup penggunaan pakan yang aman dan bebas kontaminan, penyediaan air minum yang memenuhi persyaratan kualitas, program kesehatan hewan dan biosekuriti, pengelolaan limbah dan feses ternak, penggunaan obat hewan secara bijaksana, serta pencatatan (*record keeping*) seluruh aktivitas produksi.

Implementasi GFP berperan penting dalam menurunkan prevalensi patogen zoonotik seperti *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, dan *Escherichia coli* O157:H7 pada tingkat peternakan. Selain itu, GFP menjadi fondasi utama dalam pendekatan keamanan pangan berbasis rantai pasok (*farm-to-fork approach*) yang direkomendasikan oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) dan Organisasi Kesehatan Hewan Dunia (WOAH) (FAO, 2023).

7.8.2 *Good Manufacturing Practices* (GMP)

Good Manufacturing Practices (GMP) adalah sistem yang mengatur kondisi dan prosedur operasional yang diperlukan untuk menghasilkan pangan yang aman dan bermutu secara konsisten. GMP berfungsi sebagai program prasyarat (*prerequisite program*) sebelum penerapan HACCP. Ruang lingkup GMP terdiri dari higiene dan sanitasi yang meliputi kebersihan bangunan dan fasilitas produksi, sanitasi peralatan dan lingkungan kerja, serta pengendalian hama (*pest control*); higiene pribadi meliputi kesehatan pekerja, penggunaan pakaian kerja yang sesuai, praktek cuci tangan dan perilaku higienis; pengendalian bahan baku yang meliputi seleksi pemasok, pemeriksaan mutu bahan baku, dan sistem penyimpanan yang tepat; pengendalian proses meliputi standarisasi proses produksi, pemantauan suhu, waktu, dan parameter penting lainnya.

Penerapan GMP dapat mengurangi risiko kontaminasi silang (*cross-contamination*) dan memastikan bahwa produk diproses dalam kondisi yang terkendali. GMP menjadi persyaratan dasar dalam berbagai standar keamanan pangan internasional seperti ISO 22000 dan HACCP (Codex Alimentarius Commission, 2022).

7.8.3 *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP)

Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) merupakan sistem manajemen keamanan pangan yang bersifat preventif dan berbasis risiko. Sistem ini dikembangkan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan bahaya yang signifikan terhadap keamanan

pangan. Menurut Codex Alimentarius, HACCP terdiri atas tujuh prinsip:

Prinsip 1: Analisis Bahaya; mengidentifikasi seluruh bahaya biologis, kimia, dan fisik yang mungkin muncul selama proses produksi.

Prinsip 2: Menentukan Critical Control Point (CCP); menetapkan titik pengendalian kritis yang harus dikendalikan untuk mencegah atau menghilangkan bahaya.

Prinsip 3: Menetapkan Batas Kritis; menentukan batas yang dapat diterima pada setiap CCP, misalnya suhu pasteurisasi minimal 72°C selama 15 detik.

Prinsip 4: Sistem Pemantauan; melakukan pengukuran dan observasi rutin terhadap CCP.

Prinsip 5: Tindakan Koreksi; menentukan tindakan yang harus dilakukan jika terjadi penyimpangan.

Prinsip 6: Verifikasi; memastikan bahwa sistem HACCP berjalan efektif.

Prinsip 7: Dokumentasi; menyimpan seluruh catatan dan bukti implementasi HACCP.

HACCP telah menjadi standar internasional dalam industri pangan karena terbukti lebih efektif dibandingkan dengan sistem inspeksi produk akhir (*end-product testing*) (Mortimore & Wallace, 2013).

7.8.4 Pentingnya Sertifikasi Halal di Indonesia

Di Indonesia, sertifikasi halal merupakan aspek penting dalam sistem jaminan mutu pangan. Berdasarkan Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal (BPJPH), produk pangan yang beredar wajib memenuhi ketentuan halal sesuai peraturan perundang-undangan. Sertifikasi halal bertujuan untuk memastikan bahan baku berasal dari sumber yang halal, proses produksi tidak tercemar bahan haram atau najis, sistem penyimpanan, transportasi, dan distribusi memenuhi persyaratan halal. Selain memenuhi aspek syariat Islam, sertifikasi halal juga meningkatkan kepercayaan konsumen, memperluas akses pasar, dan meningkatkan daya saing produk pangan Indonesia di pasar global (BPJPH, 2024).

7.8.5 Pentingnya Nomor Kontrol Veteriner (NKV)

Nomor Kontrol Veteriner (NKV) merupakan sertifikat resmi yang diberikan kepada unit usaha pangan asal hewan yang telah memenuhi persyaratan higiene dan sanitasi sesuai ketentuan veteriner. NKV diterbitkan oleh otoritas veteriner daerah berdasarkan ketentuan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Tujuan NKV antara lain menjamin keamanan produk pangan asal hewan, menjamin penerapan higiene dan sanitasi yang baik, meningkatkan ketertelusuran (*traceability*) produk, dan mendukung perdagangan domestik dan ekspor. Unit usaha yang wajib memiliki NKV adalah rumah potong hewan (RPH), rumah potong unggas (RPU), unit pengolahan susu, unit pengolahan daging, dan gudang penyimpanan produk asal hewan.

NKV menjadi bukti bahwa fasilitas telah memenuhi standar keamanan pangan veteriner yang ditetapkan pemerintah (Kementerian Pertanian RI, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

Adams, M. R., & Moss, M. O. 2008. *Food Microbiology* (3rd ed.). Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Bell, B. P., Goldoft, M., Griffin, P. M., Davis, M. A., Gordon, D. C., Tarr, P. I., Bartleson, C. A., Lewis, J. H., Barrett, T. J., & Wells, J. G. 1994. A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7-associated bloody diarrhea and hemolytic uremic syndrome from hamburgers. *Journal of the American Medical Association*, 272(17), 1349–1353.

BPOM RI. 2019. *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 13 Tahun 2019 tentang Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan Olahan*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.

BPOM RI. 2022. *Laporan Tahunan Pengawasan Keamanan Pangan*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.

BPJPH. 2024. *Pedoman Penyelenggaraan Jaminan Produk Halal*. Jakarta: Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal.

Balasubramaniam, V. M., Martínez-Monteagudo, S. I., & Gupta, R. 2015. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 435–462.

Buncic, S., & Sofos, J. N. 2012. *Interventions to control Salmonella contamination during poultry, cattle and pig slaughter*. Food Research International, 45(2), 641–655.

Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.

Cleveland, J., Montville, T. J., Nes, I. F., & Chikindas, M. L. 2001. Bacteriocins: Safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 71(1), 1–20.

Codex Alimentarius Commission. 2022. *General Principles of Food Hygiene CXC 1-1969*. Rome: FAO/WHO.

D'Aoust, J. Y., & Maurer, J. 2007. Salmonella species. Dalam M. P. Doyle & L. R. Beuchat (Eds.), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (3rd ed.). Washington DC: ASM Press.

Diehl, J. F. 2002. *Food Irradiation: Past, Present and Future*. Radiation Physics and Chemistry, 63(3–6), 211–215.

Doyle, M. P., & Buchanan, R. L. 2013. *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (4th ed.). Washington DC: ASM Press.

FAO. 2023. *Good Agricultural Practices and Food Safety Guidelines*. Rome: Food and Agriculture Organization.

FAO & WHO. 2023. *Food Safety Risk Management: Evidence-Informed Policies and Decisions*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization.

Farber, J. M., & Peterkin, P. I. 1991. *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. *Microbiological Reviews*, 55(3), 476–511.

Fellows, P. J. 2017. *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.). Cambridge: Woodhead Publishing.

Feng, P., Weagant, S. D., Grant, M. A., & Burkhardt, W. 2017. *Bacteriological Analytical Manual: Escherichia coli and the Coliform Bacteria*. U.S. Food and Drug Administration.

Forsythe, S. J. 2020. *The Microbiology of Safe Food* (3rd ed.). Oxford: Wiley-Blackwell

Humphrey, T., O'Brien, S., & Madsen, M. 2007. Campylobacters as zoonotic pathogens: A food production perspective. *International Journal of Food Microbiology*, 117(3), 237–257.

ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 2005. *Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. 2005. *Modern Food Microbiology* (7th ed.). New York: Springer.

Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. T. 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 123–140.

Kementerian Pertanian RI. 2023. *Pedoman Sertifikasi Nomor Kontrol Veteriner (NKV) untuk Unit Usaha Produk Hewan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan.

Leistner, L., & Gould, G. W. 2002. *Hurdle Technologies: Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Mortimore, S., & Wallace, C. 2013. *HACCP: A Practical Approach* (3rd ed.). New York: Springer.

Nachamkin, I. 2002. Chronic effects of *Campylobacter* infection. *Microbes and Infection*, 4(4), 399–403.

Nataro, J. P., & Kaper, J. B. 1998. Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 11(1), 142–201.

Oliver, S. P., Jayarao, B. M., & Almeida, R. A. 2005. Foodborne pathogens in milk and the dairy farm environment: Food safety and public health implications. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2(2), 115–129.

Robertson, G. L. 2016. *Food Packaging: Principles and Practice* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Ryser, E. T., & Marth, E. H. 2007. *Listeria, Listeriosis and Food Safety* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Silva, J., Leite, D., Fernandes, M., Mena, C., Gibbs, P. A., & Teixeira, P. 2011. *Campylobacter spp.* as a foodborne pathogen: A review. *Frontiers in Microbiology*, 2, 200.

Smith, A. M., Tau, N. P., Smouse, S. L., Allam, M., Ismail, A., Ramalwa, N. R., *et al*. 2019. Outbreak of *Listeria monocytogenes* in South Africa, 2017–2018: Laboratory activities and experiences associated with whole-genome sequencing analysis. *Foodborne Pathogens and Disease*, 16(7), 524–530.

SNI ISO 22000:2018. *Sistem Manajemen Keamanan Pangan – Persyaratan untuk Organisasi dalam Rantai Pangan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

WHO. 2022. *Five Keys to Safer Food Manual*. Geneva: World Health Organization.

WHO & FAO. 2023. *Food Safety Risk Analysis: A Guide for National Food Safety Authorities*. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization (WHO). (2023). *Salmonella (non-typhoidal) Fact Sheet*. Geneva: World Health Organization.

BAB 8
TEKNOLOGI PENGAWETAN HASIL TERNAK (PENDINGINAN, PEMBEKUAN, DAN PENGERINGAN)

8.1 Pentingnya Teknologi Pengawetan Hasil Ternak

Produk hasil ternak seperti daging, susu, dan telur merupakan bahan pangan dengan nilai gizi tinggi, terutama protein hewani yang memiliki profil asam amino esensial lengkap. Namun, sifatnya yang mudah rusak (*perishable*) disebabkan oleh tingginya kadar air, aktivitas enzim, serta kondisi pH yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Lawrie dan Ledward, 2014).

Kerusakan pada produk hewani dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama, yaitu kerusakan mikrobiologis, kimiawi (oksidasi lemak), dan enzimatis. Ketiga proses ini berlangsung cepat pada suhu ruang sehingga diperlukan teknologi pengawetan untuk memperlambat laju kerusakan (Fellows, 2017).

Prinsip utama pengawetan hasil ternak adalah pengendalian faktor lingkungan seperti suhu, aktivitas air (*water activity*), oksigen, dan kelembaban relatif. Penurunan suhu dapat menghambat reaksi biokimia, sedangkan penurunan aktivitas air membatasi pertumbuhan mikroorganisme (Rahman, 2009).

Teknologi pengawetan menjadi kunci dalam sistem rantai dingin (*cold chain system*) untuk menjaga keamanan pangan dari tahap produksi hingga konsumsi. Tanpa pengawetan yang tepat, kehilangan pascapanen (*food loss*) pada produk hewani dapat mencapai 20–30% di negara berkembang (FAO, 2022).

Teknologi pendinginan, pembekuan, dan pengeringan merupakan tiga metode pengawetan fisik yang paling banyak diterapkan pada hasil ternak karena relatif aman, efektif, dan dapat mempertahankan karakteristik produk dengan baik (Fellows, 2017). Penguasaan teknologi ini sangat penting bagi mahasiswa, peneliti, maupun praktisi industri peternakan untuk meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menjamin keamanan pangan bagi konsumen.

Tabel 8. 1 Karakteristik Produk Hasil Ternak dan Kerentanannya terhadap Kerusakan

Produk	**Kadar Air (%)**	**pH Umum**	**Faktor Kerusakan Dominan**
Daging segar	70–75	5,4–6,2	Mikroba dan oksidasi lemak
Susu segar	87–88	6,6–6,8	Mikroba pembusuk

Produk	Kadar Air (%)	pH Umum	Faktor Kerusakan Dominan
Telur segar	73–76	7,6–8,5	Kehilangan air dan CO_2

Sumber: Jay et al. (2005)

8.2 Etika Menulis

Etika penulisan ilmiah mencakup prinsip kejujuran, transparansi, dan akuntabilitas dalam menyajikan data penelitian. Pelanggaran seperti plagiarisme, fabrikasi, dan falsifikasi data dikategorikan sebagai bentuk *research misconduct* yang merusak integritas ilmiah (Steneck, 2006).

Dalam ilmu pangan, etika menjadi sangat penting karena kesalahan informasi dapat berdampak langsung pada keamanan pangan (*food safety*). Oleh karena itu, setiap data suhu, waktu proses, dan parameter teknologi harus bersumber dari literatur ilmiah yang valid (Resnik, 2015).

8.2.1 Efektif

Penulisan ilmiah yang efektif berarti mampu menyampaikan informasi secara jelas dan tidak ambigu. Menurut Day dan Gastel (2012), tulisan ilmiah yang baik harus memiliki struktur logis, bahasa sederhana, serta istilah teknis yang konsisten. Sebagai contoh, penjelasan mengenai penurunan aktivitas air (*aw*) harus dikaitkan langsung dengan pertumbuhan mikroorganisme agar tidak terjadi miskonsepsi dalam pemahaman mahasiswa (Fellows, 2017).

8.2.2 Efisien

Penulisan ilmiah yang efisien berarti menyampaikan informasi secara ringkas, padat, dan langsung pada inti konsep tanpa mengurangi makna ilmiahnya. Dalam konteks buku teks teknologi hasil ternak, efisiensi sangat penting karena materi yang disampaikan bersifat teknis dan kompleks (Gastel dan Day, 2016). Efisiensi penulisan dapat diwujudkan melalui beberapa prinsip berikut:

1. Menghindari kalimat bertele-tele *(wordiness)* Penulisan ilmiah harus langsung pada inti pesan tanpa pengulangan makna yang tidak diperlukan, sehingga pembaca lebih cepat memahami konsep utama (Day dan Gastel, 2012).
2. Menghilangkan redundansi informasi yang sudah dijelaskan sebelumnya tidak perlu diulang dalam bentuk berbeda, kecuali untuk penegasan konsep penting dalam konteks ilmiah.
3. Menggunakan istilah teknis yang tepat dan konsisten Misalnya penggunaan istilah *freezing*, *refrigeration*, dan *dehydration* harus dibedakan secara jelas untuk menghindari miskonsepsi dalam teknologi pengawetan pangan (Fellows, 2017).
4. Memanfaatkan tabel, grafik, dan diagram Data kompleks seperti perbandingan teknologi pendinginan, pembekuan, dan pengeringan lebih efisien disajikan dalam bentuk visual dibandingkan uraian naratif panjang (Singh dan Heldman, 2014).
5. Mengutamakan struktur informasi yang padat makna Setiap paragraf hanya memuat satu gagasan utama agar pembaca tidak kehilangan fokus pada inti pembahasan.

6. Mengurangi kalimat pasif yang tidak perlu Kalimat aktif lebih efisien karena lebih langsung, jelas, dan mudah dipahami dalam konteks komunikasi ilmiah (Pinker, 2014).

8.3 Teknologi Pendinginan *(Chilling)*

8.3.1 Definisi dan Prinsip Dasar Pendinginan

Pendinginan *(chilling)* merupakan salah satu metode pengawetan hasil ternak yang dilakukan dengan menurunkan suhu produk hingga berada di atas titik bekunya, umumnya pada kisaran -1°C sampai 4°C (James, 2010). Tujuan utama pendinginan adalah memperlambat aktivitas mikroorganisme, enzim, dan reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan bahan pangan tanpa mengubah fase air menjadi es.

Secara biologis, penurunan suhu akan mengurangi laju metabolisme mikroorganisme karena aktivitas enzim seluler menjadi lebih lambat. Setiap penurunan suhu sekitar 10°C dapat menurunkan kecepatan reaksi biokimia hingga setengah atau seperempat dari kondisi sebelumnya sesuai prinsip koefisien suhu (Q10) (Fellows, 2017). Oleh karena itu, pendinginan menjadi tahap paling penting dalam menjaga mutu produk hasil ternak sejak pascapanen hingga distribusi.

Meskipun pendinginan efektif memperlambat pertumbuhan mikroba, metode ini tidak membunuh seluruh mikroorganisme. Kelompok bakteri psikrotrofik seperti *Pseudomonas spp.*, *Listeria monocytogenes*, dan beberapa spesies *Bacillus* masih mampu tumbuh pada suhu rendah meskipun dengan laju yang lebih lambat (Jay *et al*., 2005). Oleh sebab itu, pendinginan harus dikombinasikan dengan sanitasi

yang baik dan penerapan rantai dingin (*cold chain*) secara konsisten.

8.3.2 Pengaruh Pendinginan Terhadap Aktivitas Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Pada suhu ruang (25–30°C), bakteri pembusuk dapat berkembang biak dengan cepat sehingga populasi mikroba meningkat dalam waktu singkat. Sebaliknya, pada suhu refrigerasi (0–4°C), waktu generasi mikroba menjadi lebih panjang sehingga kerusakan produk dapat diperlambat secara signifikan (Jay *et al*., 2005).

Tabel 8. 2 Pengaruh Suhu terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme

Suhu (°C)	Kondisi Pertumbuhan Mikroba
30–40	Pertumbuhan sangat cepat
20–30	Pertumbuhan cepat
10–20	Pertumbuhan sedang
4–10	Pertumbuhan lambat
0–4	Sebagian besar bakteri terhambat
<0	Pertumbuhan hampir berhenti

Sumber: Jay *et al.* (2005).

Penurunan suhu juga berpengaruh terhadap aktivitas enzim endogenous yang terdapat dalam jaringan hewan. Aktivitas enzim proteolitik dan lipolitik yang menyebabkan degradasi protein dan lemak akan berlangsung lebih lambat

sehingga kualitas sensoris produk dapat dipertahankan lebih lama (Lawrie & Ledward, 2014).

8.3.3 Pendinginan pada Daging

a. Pendinginan Karkas Pasca Pemotongan

Setelah proses penyembelihan, karkas masih mengalami berbagai perubahan biokimia yang dikenal sebagai proses pascamortem. Pendinginan karkas bertujuan menurunkan suhu jaringan dari sekitar 38–40°C menjadi kurang dari 7°C dalam waktu sesingkat mungkin untuk mencegah pertumbuhan mikroba dan mempertahankan mutu daging (Aberle *et al*., 2012).

Pada industri modern, karkas umumnya didinginkan dalam ruang pendingin dengan suhu antara 0–4°C dan kelembaban relatif sekitar 85–90%. Sirkulasi udara yang baik diperlukan untuk mempercepat pelepasan panas dari jaringan daging menuju lingkungan penyimpanan (James & James, 2010).

Proses pendinginan yang tepat dapat memperpanjang umur simpan daging segar hingga 7–14 hari tergantung jenis hewan, metode pengemasan, dan kondisi penyimpanan (Lawrie & Ledward, 2014).

b. Fenomena Cold Shortening

Salah satu masalah utama dalam pendinginan karkas adalah terjadinya *cold shortening*. Fenomena ini terjadi ketika suhu otot turun di bawah 10°C sebelum proses rigor mortis selesai berlangsung (Aberle *et al*., 2012). Pada kondisi tersebut, retikulum sarkoplasma melepaskan ion kalsium (Ca^{2+}) dalam jumlah besar sehingga menyebabkan kontraksi otot yang berlebihan. Akibatnya, serabut otot

memendek dan tekstur daging menjadi lebih keras setelah dimasak (Lawrie dan Ledward, 2014).

Cold shortening dapat menyebabkan panjang sarkomer berkurang hingga 50% dan meningkatkan nilai kekerasan daging secara signifikan. Oleh karena itu, industri daging menerapkan berbagai strategi pencegahan, antara lain:

1. *Electrical stimulation* (stimulasi listrik).
2. *Delayed chilling*.
3. *Hot boning.*
4. Pengaturan laju pendinginan karkas.

Electrical stimulation merupakan metode yang paling banyak digunakan karena dapat mempercepat glikolisis pascamortem sehingga rigor mortis terjadi lebih cepat sebelum suhu karkas terlalu rendah (Aberle *et al*., 2012).

8.3.4 Pengaruh Pendinginan terhadap Mutu Daging

Pendinginan yang baik memberikan berbagai keuntungan, yaitu:

- Menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk.
- Memperlambat oksidasi lemak.
- Menjaga warna daging tetap cerah.
- Mengurangi kehilangan nutrien.
- Memperpanjang umur simpan.

Namun demikian, pendinginan yang terlalu lama dapat menyebabkan kehilangan bobot akibat evaporasi air dari permukaan daging (*shrink loss*) (Fellows, 2017).

8.3.5 Pendinginan pada Susu

a. Pentingnya Pendinginan Susu Segar

Susu segar merupakan bahan pangan yang sangat mudah rusak karena mengandung air sekitar 87%, laktosa, protein, mineral, dan vitamin yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme (Walstra *et al*., 2006).

Apabila susu tidak segera didinginkan setelah pemerahan, jumlah bakteri dapat meningkat secara eksponensial sehingga kualitas susu menurun dengan cepat. Oleh karena itu, pendinginan segera setelah pemerahan merupakan langkah paling kritis dalam sistem produksi susu modern. Menurut standar industri susu internasional, suhu susu harus diturunkan hingga di bawah 4°C dalam waktu maksimal dua jam setelah pemerahan (FAO, 2023).

b. Sistem Bulk Milk Cooler

Peternakan skala komersial, susu biasanya disimpan dalam tangki pendingin yang dikenal sebagai ***bulk milk cooler***. Peralatan ini berfungsi untuk:

- Menurunkan suhu susu dengan cepat.
- Menjaga suhu penyimpanan tetap stabil.
- Mengurangi pertumbuhan mikroorganisme.
- Mempertahankan kualitas susu hingga proses pengangkutan.

Tangki pendingin umumnya dilengkapi dengan sistem agitasi untuk menjaga keseragaman suhu dan mencegah pemisahan komponen susu (Walstra *et al*., 2006).

c. Mikroorganisme Psikrotrofik pada Susu

Walaupun pendinginan efektif menghambat sebagian besar bakteri, kelompok psikrotrofik seperti *Pseudomonas*

fluorescens masih dapat berkembang selama penyimpanan dingin (Jay *et al*., 2005).

Mikroorganisme ini menghasilkan enzim protease dan lipase yang tahan panas sehingga dapat tetap aktif bahkan setelah proses pasteurisasi. Akibatnya dapat terjadi:

- Rasa pahit pada susu.
- Ketengikan.
- Penurunan stabilitas protein.
- Penurunan mutu produk olahan susu.

Karena itu, pendinginan harus dilakukan bersamaan dengan penerapan higiene pemerahan yang baik.

8.3.6 Pendinginan pada Telur

Telur mengalami berbagai perubahan fisik dan kimia selama penyimpanan. Melalui pori-pori kerabang, air dan karbon dioksida secara perlahan menguap ke lingkungan sehingga kualitas telur menurun (Stadelman & Cotterill, 1995). Beberapa perubahan yang terjadi meliputi :

- Pembesaran kantung udara.
- Penurunan tinggi albumen.
- Penurunan indeks kuning telur.
- Peningkatan pH putih telur.
- Penurunan kesegaran telur.

Penyimpanan pada suhu 4–7°C dapat memperlambat kehilangan air dan karbon dioksida sehingga mutu telur dapat dipertahankan lebih lama (Stadelman & Cotterill, 1995).

Tabel 8. 3 Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Umur Simpan Telur

Suhu Penyimpanan	Umur Simpan
25–30°C	1–2 minggu
15°C	3–4 minggu
4–7°C	6–8 minggu

Sumber: Stadelman dan Cotterill (1995).

Faktor yang mempengaruhi efektivitas pendiginan antara lain :

a. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) : Kelembaban relatif (RH) mempengaruhi tingkat penguapan air dari produk. RH yang terlalu rendah meningkatkan kehilangan bobot produk, sedangkan RH yang terlalu tinggi dapat memicu kondensasi dan pertumbuhan kapang (James, 2010).
b. Kecepatan Sirkulasi Udara : Sirkulasi udara membantu perpindahan panas dari produk menuju lingkungan pendingin. Kecepatan udara yang optimal dapat mempercepat pendinginan tanpa menyebabkan dehidrasi berlebihan pada permukaan produk (Fellows, 2017).
c. Ukuran dan Bentuk Produk : Produk dengan ukuran besar memerlukan waktu pendinginan lebih lama dibandingkan produk berukuran kecil karena jarak perpindahan panas dari bagian tengah ke permukaan lebih jauh (James dan James, 2010).
d. Kapasitas Termal Produk : Kandungan air yang tinggi menyebabkan kapasitas panas produk meningkat sehingga energi yang dibutuhkan untuk menurunkan

suhu menjadi lebih besar. Oleh sebab itu, susu dan daging memerlukan sistem pendinginan yang lebih efisien dibandingkan produk dengan kadar air rendah.

8.4 Teknologi Pembekuan

Teknologi pembekuan (*freezing*) merupakan salah satu metode pengawetan pangan yang dilakukan dengan menurunkan suhu bahan hingga berada di bawah titik bekunya, umumnya pada suhu -18°C atau lebih rendah. Metode ini bertujuan untuk memperpanjang masa simpan produk dengan menghambat aktivitas mikroorganisme, enzim, dan reaksi kimia yang dapat menyebabkan kerusakan bahan pangan. Dalam industri hasil ternak, pembekuan menjadi teknologi yang sangat penting karena produk seperti daging, susu, dan telur memiliki kandungan air serta nutrien yang tinggi sehingga mudah mengalami penurunan mutu apabila tidak segera diawetkan (Fellows, 2017).

Prinsip utama pembekuan adalah mengubah sebagian besar air bebas yang terdapat dalam bahan pangan menjadi kristal es. Ketika suhu bahan diturunkan hingga mencapai titik beku, molekul air mulai membentuk inti kristal (*nucleation*) yang kemudian berkembang menjadi kristal es yang lebih besar. Perubahan fase air ini menyebabkan jumlah air bebas yang tersedia bagi mikroorganisme berkurang sehingga nilai aktivitas air (*water activity/aw*) menurun. Akibatnya, pertumbuhan dan aktivitas metabolisme mikroorganisme menjadi sangat terhambat (Rahman, 2009).

Selain menghambat pertumbuhan mikroba, pembekuan juga memperlambat berbagai reaksi biokimia

yang dapat menurunkan kualitas produk. Aktivitas enzim, oksidasi lemak, degradasi protein, serta reaksi pencoklatan berlangsung jauh lebih lambat pada suhu beku dibandingkan suhu ruang. Namun demikian, pembekuan tidak dapat membunuh seluruh mikroorganisme yang terdapat dalam bahan pangan. Beberapa mikroorganisme masih dapat bertahan hidup selama penyimpanan beku dan kembali aktif ketika produk dicairkan (*thawing*). Oleh karena itu, kualitas bahan baku dan sanitasi selama proses pengolahan tetap menjadi faktor penting dalam menjaga keamanan pangan (Jay *et al*., 2005).

8.4.1 Teknologi Pembekuan pada Hasil Ternak

Penerapan teknologi pembekuan pada hasil ternak bertujuan untuk mempertahankan mutu produk selama penyimpanan dan distribusi. Produk hasil ternak umumnya memiliki kadar air yang tinggi, yaitu sekitar 70–75% pada daging, 87% pada susu, dan lebih dari 70% pada telur. Kondisi tersebut menyebabkan produk hasil ternak sangat rentan terhadap kerusakan mikrobiologis dan biokimiawi. Dengan menerapkan pembekuan, laju kerusakan dapat ditekan sehingga umur simpan produk menjadi lebih panjang dibandingkan penyimpanan dingin biasa (James & James, 2010).

Keberhasilan proses pembekuan sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembentukan kristal es. Pembekuan cepat menghasilkan kristal es berukuran kecil yang tersebar merata di dalam jaringan sehingga kerusakan sel dapat diminimalkan. Sebaliknya, pembekuan lambat menghasilkan kristal es yang lebih besar dan dapat merusak struktur jaringan produk. Oleh karena itu, industri pangan modern lebih banyak

menggunakan teknologi pembekuan cepat seperti *blast freezing* dan *Individual Quick Freezing* (IQF) untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik setelah proses pencairan (Fellows, 2017).

Selain proses pembekuan, kondisi penyimpanan juga sangat menentukan kualitas produk akhir. Suhu penyimpanan yang tidak stabil dapat menyebabkan terjadinya rekristalisasi, yaitu penggabungan kristal es kecil menjadi kristal yang lebih besar. Fenomena ini dapat meningkatkan kerusakan jaringan, memperbesar kehilangan cairan saat pencairan, dan menurunkan kualitas sensoris produk. Oleh karena itu, produk hasil ternak beku harus disimpan pada suhu yang konstan dan didukung oleh sistem rantai dingin (*cold chain*) yang baik selama distribusi (Rahman, 2009).

8.4.2. Aplikasi Teknologi Pembekuan pada Daging, Susu, dan Telur

Daging merupakan salah satu produk hasil ternak yang paling banyak diawetkan melalui pembekuan. Kandungan protein dan air yang tinggi menjadikan daging sangat rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme pembusuk. Pembekuan pada suhu -18°C atau lebih rendah mampu memperpanjang umur simpan daging hingga beberapa bulan dengan tetap mempertahankan sebagian besar nilai gizinya. Namun, kualitas daging beku sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembekuan karena pembekuan yang lambat dapat menyebabkan kerusakan jaringan otot dan meningkatkan *drip loss* saat pencairan (Lawrie dan Ledward, 2014)

Pada susu, teknologi pembekuan digunakan untuk memperpanjang masa simpan bahan baku sebelum diolah lebih lanjut. Pembekuan dapat menghambat pertumbuhan

mikroorganisme dan memperlambat perubahan kimia selama penyimpanan. Meskipun demikian, proses pembekuan dapat memengaruhi stabilitas protein dan emulsi lemak dalam susu sehingga berpotensi menyebabkan pemisahan lemak atau perubahan tekstur setelah pencairan. Oleh karena itu, pembekuan susu umumnya diterapkan untuk tujuan tertentu dan memerlukan pengendalian suhu yang ketat selama penyimpanan maupun pencairan (Walstra *et al*., 2006).

Pada telur, pembekuan lebih sering diterapkan pada produk telur cair dibandingkan telur utuh bercangkang. Telur utuh yang dibekukan berisiko mengalami keretakan akibat pemuaian volume isi telur selama pembentukan kristal es. Dalam industri pangan, telur cair yang telah dipisahkan menjadi putih telur, kuning telur, atau campuran keduanya dapat dibekukan untuk memperpanjang umur simpan dan memudahkan distribusi. Produk telur beku banyak dimanfaatkan dalam industri bakery dan pengolahan pangan karena lebih praktis, memiliki kualitas yang seragam, dan dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama dibandingkan telur segar (Stadelman & Cotterill, 1995).

Tabel 8. 4 Penerapan Teknologi Pembekuan pada Produk Hasil Ternak

Produk Hasil Ternak	**Tujuan Pembekuan**	**Keuntungan**	**Kendala Utama**
Daging	Memperpanjang umur simpan dan menjaga keamanan pangan	Pertumbuhan mikroba terhambat, umur simpan lebih panjang	Drip loss dan freezer burn

Susu	Mempertahankan kualitas bahan baku	Pertumbuhan mikroba terhambat	Pemisahan lemak dan perubahan tekstur
Telur cair	Memudahkan penyimpanan dan distribusi	Praktis dan umur simpan lebih lama	Gelasi kuning telur dan perubahan sifat fungsional

Sumber: Fellows (2017).

8.5 Teknologi Pengeringan

Pengeringan (*drying* atau *dehydration*) merupakan salah satu metode pengawetan pangan yang dilakukan dengan mengurangi sebagian besar kandungan air dalam bahan hingga mencapai tingkat tertentu sehingga aktivitas mikroorganisme, enzim, dan reaksi kimia dapat dihambat. Teknologi pengeringan telah lama digunakan dalam industri pangan karena mampu memperpanjang umur simpan produk, mengurangi volume dan berat bahan, serta memudahkan penyimpanan dan distribusi (Fellows, 2017).

Prinsip dasar pengeringan adalah menghilangkan air dari bahan melalui proses perpindahan panas dan massa. Panas yang diberikan akan menguapkan air dari permukaan bahan, sedangkan air yang berada di bagian dalam bahan akan bergerak menuju permukaan untuk kemudian diuapkan. Semakin rendah kadar air dan aktivitas air (*water activity/aw*) suatu produk, semakin kecil kemungkinan mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang. Sebagian besar bakteri tidak

dapat tumbuh pada nilai aktivitas air di bawah 0,90, sedangkan pertumbuhan mikroorganisme secara umum akan terhambat pada nilai aktivitas air di bawah 0,60 (Rahman, 2009).

Selain memperpanjang umur simpan, pengeringan juga memberikan keuntungan ekonomi karena dapat mengurangi biaya transportasi dan penyimpanan. Namun demikian, proses pengeringan yang tidak terkendali dapat menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada produk, seperti penyusutan (*shrinkage*), denaturasi protein, perubahan warna, serta hilangnya komponen aroma yang mudah menguap. Oleh karena itu, pemilihan metode dan kondisi pengeringan harus disesuaikan dengan karakteristik bahan yang akan diolah (Mujumdar, 2014).

8.5.1 Metode Pengeringan

Metode pengeringan hasil ternak dapat dibedakan menjadi pengeringan tradisional dan pengeringan modern. Pengeringan tradisional umumnya dilakukan dengan memanfaatkan energi matahari (*sun drying*), sedangkan pengeringan modern menggunakan peralatan mekanis seperti oven, kabinet pengering (*cabinet dryer*), dan pengering semprot (*spray dryer*). Penggunaan alat mekanis memberikan keuntungan berupa kontrol suhu, kelembapan, dan waktu pengeringan yang lebih baik sehingga mutu produk dapat dipertahankan secara lebih konsisten (Fellows, 2017).

Salah satu metode yang sangat penting dalam industri hasil ternak adalah *spray drying* atau pengeringan semprot. Teknologi ini banyak digunakan dalam produksi susu bubuk. Pada metode ini, susu cair diubah menjadi partikel-partikel halus melalui proses atomisasi, kemudian dikontakkan

dengan udara panas sehingga air menguap dengan cepat dan diperoleh produk bubuk dengan kadar air rendah. Metode ini mampu menghasilkan susu bubuk dengan kualitas yang baik serta umur simpan yang panjang apabila dikemas dengan benar (Walstra *et al*., 2006).

Metode lain yang berkembang dalam industri pangan modern adalah *freeze drying* atau liofilisasi. Teknologi ini diawali dengan pembekuan bahan, kemudian air dihilangkan melalui proses sublimasi pada kondisi vakum. Dibandingkan metode pengeringan konvensional, *freeze drying* mampu mempertahankan struktur jaringan, warna, aroma, serta kandungan nutrisi produk dengan lebih baik. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan pada produk bernilai tinggi seperti daging kering premium, kultur starter, bahan pangan fungsional, dan kaldu bubuk instan (Mujumdar, 2014).

8.5.2 Penerapan Teknologi Pengeringan pada Hasil Ternak

Produk daging, teknologi pengeringan telah lama dimanfaatkan untuk menghasilkan berbagai produk olahan seperti dendeng dan abon. Pengeringan menurunkan kadar air sehingga aktivitas mikroorganisme menjadi terhambat dan umur simpan produk meningkat. Pada pembuatan dendeng, proses pengeringan umumnya dikombinasikan dengan penambahan garam, gula, dan bumbu yang berfungsi meningkatkan cita rasa sekaligus membantu proses pengawetan. Sementara itu, abon dibuat melalui kombinasi proses pemasakan, penghancuran serat daging, dan pengeringan hingga diperoleh produk dengan kadar air yang rendah serta stabil selama penyimpanan (Soeparno, 2015).

Pada susu, pengeringan berperan penting dalam produksi susu bubuk penuh (*full cream milk powder*) maupun susu bubuk skim (*skim milk powder*). Produk susu bubuk memiliki keunggulan berupa umur simpan yang lebih panjang, kemudahan distribusi, serta biaya penyimpanan yang lebih rendah dibandingkan susu cair. Selain itu, susu bubuk dapat direhidrasi kembali dengan penambahan air sehingga praktis digunakan sebagai bahan baku berbagai produk pangan maupun minuman (Walstra *et al*., 2006).

Pada telur, teknologi pengeringan menghasilkan produk telur bubuk (*egg powder*) yang banyak digunakan dalam industri bakery, mie, dan produk pangan olahan lainnya. Telur bubuk memiliki umur simpan lebih lama dibandingkan telur segar serta lebih mudah ditangani selama transportasi dan penyimpanan. Namun, proses pengeringan harus dilakukan secara hati-hati karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein dan menurunkan sifat fungsional telur, seperti kemampuan membentuk busa dan emulsi. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan waktu pengeringan menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas produk telur bubuk (Stadelman & Cotterill, 1995).

Tabel 8. 5 Produk Hasil Ternak yang Dihasilkan Melalui Teknologi Pengeringan

Produk Hasil Ternak	Metode Pengeringan	Produk Akhir
Daging sapi	Pengeringan oven atau matahari	Dendeng

Daging sapi/ayam	Pengeringan setelah pemasakan	Abon
Susu	Spray drying	Susu bubuk
Telur cair	Spray drying	Telur bubuk

Sumber: Fellows (2017); Soeparno (2015); Walstra et al. (2006).

Tabel 8. 6 Perubahan Fisiko-Kimia Selama Pengeringan Hasil Ternak

Perubahan	**Dampak terhadap Produk**
Penurunan kadar air	Memperpanjang umur simpan
Pengkerutan (*Shrinkage*)	Menurunkan ukuran produk
Denaturasi protein	Mengubah tekstur dan sifat fungsional
Hilangnya komponen volatil	Menurunkan aroma produk
Pengerasan Permukaan (*Case Hardening*)	Menghambat pengeringan bagian dalam bahan

Sumber: Mujumdar (2014); Fellows (2017).

8.6 Perbandingan Teknologi Pengawetan Hasil Ternak

8.6.1 Perbandingan Teknologi Pendinginan, Pembekuan dan Pengeringan

Teknologi pendinginan, pembekuan, dan pengeringan merupakan tiga metode pengawetan fisik yang banyak diterapkan dalam industri hasil ternak. Ketiga metode tersebut memiliki tujuan yang sama, yaitu memperpanjang umur simpan produk dan mempertahankan kualitasnya selama penyimpanan serta distribusi. Meskipun demikian,

masing-masing teknologi memiliki prinsip kerja, kebutuhan peralatan, biaya operasional, serta pengaruh terhadap mutu produk yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan teknologi pengawetan harus mempertimbangkan karakteristik bahan baku, tujuan pengolahan, dan kebutuhan pasar (Fellows, 2017).

Pendinginan bekerja dengan menurunkan suhu produk hingga berada di atas titik beku, umumnya pada kisaran -1°C hingga 4°C. Teknologi ini efektif untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim tanpa mengubah fase air dalam bahan pangan. Pendinginan banyak digunakan pada produk segar seperti daging, susu, dan telur karena mampu mempertahankan karakteristik alami produk. Namun, daya simpan yang dihasilkan relatif terbatas sehingga produk tetap memerlukan distribusi dan pemasaran dalam waktu yang tidak terlalu lama (James & James, 2010).

Pembekuan dilakukan dengan menurunkan suhu hingga di bawah titik beku, biasanya pada suhu -18°C atau lebih rendah. Teknologi ini mampu memperpanjang umur simpan produk selama berbulan-bulan karena sebagian besar air bebas berubah menjadi kristal es sehingga aktivitas mikroorganisme dan reaksi biokimia dapat ditekan secara signifikan. Sementara itu, pengeringan mengawetkan produk dengan cara mengurangi kadar air hingga mencapai tingkat yang tidak memungkinkan mikroorganisme tumbuh. Produk hasil pengeringan umumnya memiliki umur simpan paling panjang dan lebih mudah didistribusikan karena bobotnya lebih ringan serta tidak selalu memerlukan rantai dingin selama penyimpanan (Rahman, 2009).

8.6.2 Pengaruh Teknologi Pengawetan terhadap Mutu dan Nilai Gizi

Setiap metode pengawetan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik fisik, kimia, dan nilai gizi produk hasil ternak. Pendinginan merupakan metode yang paling baik dalam mempertahankan sifat alami bahan karena perubahan yang terjadi relatif minimal. Warna, tekstur, rasa, dan kandungan nutrien umumnya masih mendekati kondisi segar apabila produk disimpan pada suhu yang tepat dan dalam waktu yang tidak terlalu lama (Fellows, 2017).

Pembekuan juga mampu mempertahankan sebagian besar kandungan protein, lemak, vitamin, dan mineral. Akan tetapi, proses pembekuan dan pencairan dapat menyebabkan kerusakan jaringan yang ditandai dengan terjadinya *drip loss*, terutama pada produk yang mengalami pembekuan lambat. Kehilangan cairan ini dapat mengurangi sebagian nutrien larut air dan memengaruhi tekstur produk setelah pencairan (Lawrie dan Ledward, 2014).

Pada teknologi pengeringan, perubahan mutu cenderung lebih besar dibandingkan pendinginan dan pembekuan karena adanya paparan panas selama proses pengeringan. Beberapa vitamin yang sensitif terhadap panas dapat mengalami degradasi, sedangkan protein dapat mengalami denaturasi apabila suhu pengeringan terlalu tinggi. Meskipun demikian, teknologi modern seperti *freeze drying* mampu mempertahankan kualitas nutrisi lebih baik dibandingkan metode pengeringan konvensional sehingga banyak digunakan untuk produk bernilai tinggi (Mujumdar, 2014).

8.6.3 Keuggulan dan Keterbatasan Teknologi Pengawetan Hasil Ternak

Pemilihan teknologi pengawetan harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan ekonomis. Pendinginan memiliki biaya investasi dan operasional yang relatif lebih rendah dibandingkan pembekuan, namun daya simpannya lebih pendek. Sebaliknya, pembekuan membutuhkan energi yang lebih besar untuk mempertahankan suhu rendah selama penyimpanan, tetapi memberikan umur simpan yang jauh lebih panjang. Pengeringan menawarkan keuntungan dalam hal kemudahan distribusi dan penyimpanan, tetapi beberapa metode membutuhkan investasi alat yang cukup tinggi serta dapat menyebabkan perubahan mutu yang lebih besar (James dan James, 2010).

Dalam industri hasil ternak modern, ketiga teknologi tersebut sering digunakan secara terintegrasi untuk memperoleh hasil yang optimal. Sebagai contoh, susu segar didinginkan segera setelah pemerahan sebelum diolah menjadi susu bubuk melalui proses pengeringan. Demikian pula pada produk daging, pendinginan digunakan selama penanganan awal, kemudian pembekuan diterapkan untuk penyimpanan jangka panjang. Pendekatan ini memungkinkan industri mempertahankan kualitas produk sekaligus meningkatkan efisiensi distribusi (Walstra *et al*., 2006).

Secara umum, tidak ada satu metode pengawetan yang paling unggul untuk semua jenis produk hasil ternak. Setiap teknologi memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing yang harus disesuaikan dengan karakteristik produk, tujuan pengolahan, serta kebutuhan konsumen. Oleh karena

itu, pemahaman mengenai prinsip kerja dan dampak masing-masing teknologi menjadi dasar penting dalam pengelolaan mutu dan keamanan pangan asal ternak.

Tabel 8. 7 Perbandingan Teknologi Pendinginan, Pembekuan, dan Pengeringan pada Hasil Ternak

Aspek	**Pendinginan**	**Pembekuan**	**Pengeringan**
Prinsip kerja	Menurunkan suhu di atas titik beku	Menurunkan suhu di bawah titik beku	Mengurangi kadar air
Kisaran suhu	-1°C sampai 4°C	≤ -18°C	Bervariasi sesuai metode
Aktivitas air (aw)	Relatif tidak berubah	Menurun karena pembentukan es	Menurun drastis
Daya simpan	Hari hingga minggu	Bulan hingga tahun	Bulan hingga tahun
Pengaruh terhadap mikroba	Menghambat pertumbuhan	Menghentikan pertumbuhan sebagian besar mikroba	Menghambat pertumbuhan mikroba melalui penurunan aw
Perubahan tekstur	Minimal	Dapat terjadi drip loss	Dapat terjadi penyusutan
Pengaruh terhadap nutrisi	Sangat kecil	Kecil	Sedang hingga tinggi

Aspek	Pendinginan	Pembekuan	Pengeringan
Kebutuhan energi selama penyimpanan	Sedang	Tinggi	Rendah
Kemudahan distribusi	Memerlukan rantai dingin	Memerlukan rantai dingin	Lebih mudah
Contoh produk	Daging segar, susu segar, telur	Daging beku, telur beku, susu beku	Dendeng, abon, susu bubuk, telur bubuk

Sumber: Fellows (2017); James dan James (2010); Rahman (2009).

Tabel 8. 8 Rekomendasi Teknologi Pengawetan Berdasarkan Jenis Produk Hasil Ternak

Produk	Teknologi yang Direkomendasikan	Tujuan Utama
Daging segar	Pendinginan	Mempertahankan kesegaran jangka pendek
Daging untuk ekspor	Pembekuan	Penyimpanan dan distribusi jangka panjang
Susu segar	Pendinginan	Menekan pertumbuhan mikroba
Susu bubuk	Pengeringan (spray drying)	Memperpanjang umur simpan
Telur konsumsi	Pendinginan	Menjaga kualitas internal telur
Telur cair industri	Pembekuan	Memudahkan penyimpanan dan distribusi

Produk	**Teknologi yang Direkomendasikan**	**Tujuan Utama**
Telur bubuk	Pengeringan	Produk dengan umur simpan panjang

Sumber: Walstra et al. (2006); Stadelman dan Cotterill (1995); Fellows (2017).

DAFTAR PUSTAKA

Aberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E. and Mills, E.W., 2012. *Principles of Meat Science*. 5th ed. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company.

Fellows, P.J., 2017. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 4th ed. Cambridge: Woodhead Publishing.

James, S.J. and James, C., 2010. *Chilling and Freezing of Foods*. Cambridge: Woodhead Publishing.

Jay, J.M., Loessner, M.J. and Golden, D.A., 2005. *Modern Food Microbiology*. 7th ed. New York: Springer Science+Business Media.

Lawrie, R.A. and Ledward, D.A., 2014. *Lawrie's Meat Science*. 8th ed. Cambridge: Woodhead Publishing.

Mujumdar, A.S., 2014. *Handbook of Industrial Drying*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press.

Rahman, M.S., 2009. *Food Properties Handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Soeparno, 2015. *Ilmu dan Teknologi Daging*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Stadelman, W.J. and Cotterill, O.J., 1995. *Egg Science and Technology*. 4th ed. New York: Food Products Press.

Tamime, A.Y., 2009. *Milk Processing and Quality Management*. Oxford: Wiley-Blackwell.

Walstra, P., Wouters, J.T.M. and Geurts, T.J., 2006. *Dairy Science and Technology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia, 2021. *Pedoman Cara Pengolahan dan Penanganan Pangan Olahan Beku yang Baik*. Jakarta: BPOM RI.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2023. *Food Preservation and Storage Guidelines*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Day, R.A. and Gastel, B., 2012. *How to Write and Publish a Scientific Paper*. Cambridge University Press.

Gastel, B. and Day, R.A., 2016. *How to Write and Publish a Scientific Paper*. 8th ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Rahman, M.S., 2009. *Food Properties Handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Resnik, D.B., 2015. What is ethics in research & why is it important. *National Institute of Environmental Health Sciences*.

Singh, R.P. and Heldman, D.R., 2014. *Introduction to Food Engineering*. 5th ed. Academic Press.

Steneck, N.H., 2006. Fostering integrity in research: Definitions, current knowledge, and future directions. *Science and Engineering Ethics*, 12(1), pp.53–74.

BAB 9
PENGGUNAAN BAHAN TAMBAHAN PANGAN (BTP) DALAM PRODUK TERNAK

Bahan Tambahan Pangan (BTP) merupakan komponen yang secara sengaja ditambahkan ke dalam produk olahan ternak untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, maupun organoleptik. Penggunaan BTP yang tepat sangat krusial dalam industri pengolahan daging, susu, dan telur guna menjamin konsistensi mutu dan efisiensi produksi.

Secara yuridis, berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) RI Nomor 033 Tahun 2012, BTP didefinisikan sebagai bahan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk mempengaruhi sifat atau bentuk pangan, baik yang mempunyai nilai gizi maupun tidak, yang bukan merupakan bahan baku khas. Di era industri modern, pemahaman mengenai BTP tidak hanya terbatas pada fungsi teknologisnya, melainkan harus berpijak pada pemenuhan standar regulasi keamanan pangan nasional dan global untuk menjamin perlindungan konsumen dari risiko kesehatan.

9.1 Aspek Keamanan Pangan dan Takaran Maksimum BTP

Dalam mengevaluasi dan menetapkan batas aman penggunaan BTP pada produk olahan hasil ternak, terdapat beberapa parameter toksikologi internasional yang diadopsi dalam regulasi pangan di Indonesia dianaranya:

9.1.1 ADI (*Acceptable Daily Intake*)

ADI adalah ambang batas aman yang digunakan secara internasional khusus untuk Bahan Tambahan Pangan (BTP) yang sengaja ditambahkan ke dalam makanan (seperti pengawet nitrit pada sosis, penemulsi fosfat pada bakso, atau pewarna). Nilai ADI dinyatakan dalam satuan miligram zat per kilogram berat badan konsumen per hari (mg/kg bb/hari).

Nilai ADI ditentukan melalui uji toksisitas jangka panjang pada hewan laboratorium. Dari uji tersebut ditemukan tingkat konsumsi tertinggi di mana hewan tidak menunjukkan gejala keracunan sama sekali, yang disebut NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*). Untuk menjamin keamanan manusia, nilai NOAEL ini dibagi dengan *Safety Factor* (Faktor Keamanan) biasanya bernilai 100 untuk mengakomodasi perbedaan sensitivitas antar-spesies dan variasi antar-individu manusia.

Contohnya adalah penggunaan *Natrium nitrit* pada daging olahan. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) menetapkan ADI untuk nitrit sebesar 0–0,07 mg/kg bb. Jika seorang mahasiswa memiliki berat badan 50 kg, maka batas aman konsumsi nitritnya dalam sehari adalah maksimum 3,5 mg. Jika ia mengonsumsi sosis melampaui

ambang ini setiap hari dalam jangka panjang, risiko akumulasi senyawa karsinogenik (*Nitrosamin*) akan meningkat.

9.1.2 MTDI (*Maximum Tolerable Daily Intake*)

Berbeda dengan ADI yang digunakan untuk bahan yang *sengaja ditambahkan* (BTP), istilah Tolerable (Dapat Ditoleransi) pada MTDI digunakan untuk zat-zat kimia atau mineral yang sebenarnya tidak sengaja ditambahkan, tetapi keberadaannya sulit dihindari karena menjadi bagian dari komponen fungsional pangan atau akibat proses pengolahan. MTDI menekankan pada batas paparan maksimal dalam kurun waktu satu hari (24 jam) agar tidak menimbulkan efek toksik akut (jangka pendek).

Karakteristik Utama MTDI biasanya digunakan untuk unsur esensial atau senyawa bioaktif yang dalam jumlah kecil dibutuhkan atau normal berada dalam makanan, namun berubah menjadi racun jika dosisnya berlebihan.

Contoh paling nyata dalam teknologi hasil ternak adalah Fosfat. Senyawa fosfat (seperti STPP) secara alami terdapat dalam daging dan susu, sekaligus sering digunakan sebagai BTP pengikat air. Karena fosfat masuk dari dua sumber (alami dan tambahan), maka batas amannya menggunakan pendekatan MTDI, bukan ADI tunggal. JECFA menetapkan MTDI untuk fosfat sebesar 70 mg/kg bb/hari (dihitung sebagai fosfor total dari semua sumber makanan). Jika konsumsi fosfat dari daging, susu, dan BTP melebihi angka MTDI ini, dapat terjadi gangguan penyerapan kalsium dan masalah pada ginjal. Karena daging dan susu secara alami sudah mengandung fosfor tinggi, BPOM membatasi penambahan BTP fosfat (seperti STPP) maksimal sekitar 4400 mg/kg produk.

9.1.3 PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake* / Asupan Mingguan Sementara yang Dapat Ditoleransi)

PTWI digunakan khusus untuk kontaminan lingkungan terutama logam berat dan polutan organik persisten yang bersifat akumulatif di dalam tubuh. Zat-zat ini memiliki waktu paruh yang sangat panjang, artinya sekali masuk ke dalam tubuh melalui pakan atau lingkungan, senyawa tersebut akan mengendap di dalam jaringan dalam waktu lama dan sangat sulit diekskresikan.

Karena zat ini terakumulasi perlahan, paparan dari hari ke hari (harian) tidak langsung memicu keracunan akut. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan dalam jangka waktu satu minggu untuk mencerminkan beban penumpukan zat tersebut di dalam jaringan tubuh. Statusnya bersifat sementara karena didasarkan pada data pencemaran lingkungan saat ini dan akan terus dievaluasi atau diperketat seiring ditemukannya data klinis terbaru mengenai dampak negatif logam tersebut pada kesehatan manusia.

Ternak dapat mengonsumsi rumput, pakan, atau air yang tercemar oleh logam berat di sekitar area peternakan. Logam berat tersebut kemudian terakumulasi pada produk hewani yang kita konsumsi, seperti:

a) Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) sering mengendap di organ jeroan ternak (hati dan ginjal).
b) Merkuri (Hg) apat ditemukan pada tepung ikan yang digunakan sebagai komponen pakan ayam pedaging/petelur, yang kemudian residunya mengalir ke daging atau kuning telur.

Sebagai contoh, PTWI untuk Timbal (Pb) diatur sangat ketat karena logam ini dapat merusak sistem saraf dan fungsi ginjal manusia apabila produk ternak yang tercemar dikonsumsi secara rutin dari minggu ke minggu.

Setiap produsen olahan hasil ternak wajib memastikan bahwa residu BTP yang tertinggal pada produk akhir tidak melampaui batas maksimum yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).

9.2 Penggolongan BTP yang Relevan pada Industri Hasil Ternak

Permenkes No. 033 Tahun 2012 menetapkan 27 golongan BTP yang diizinkan dalam pangan. Dari puluhan golongan tersebut, beberapa di antaranya memiliki peran yang sangat spesifik dan vital dalam teknologi pengolahan produk hewani:

9.2.1 Pengawet (Preservative)

Pengawet adalah golongan BTP yang ditambahkan ke dalam produk pangan dengan tujuan utama menghambat pembusukan, mengontrol kerusakan hidrolitik-oksidatif, serta mencegah pertumbuhan mikroorganisme patogen. Di dalam industri pengolahan hasil ternak, aplikasi pengawet memegang peranan vital dalam memperpanjang masa simpan (*shelf-life*) sekaligus menjaga keamanan pangan (*food safety*) produk-produk yang bersifat mudah rusak (*perishable food*) seperti daging, susu, dan telur (Leães *et al.*, 2026).

Menurut (Leães *et al.*, 2026) salah satu contoh klasik dan paling luas penggunaannya dalam teknologi daging

olahan (seperti sosis, kornet, *ham*, dan *bacon*) adalah senyawa nitrit (misalnya natrium nitrit atau kalium nitrit). Secara fungsional, senyawa nitrit memiliki efek multifungsi yang unik melalui mekanisme biochemical berikut:

a. Mekanisme Antimikroba

   Ion nitrit () bekerja secara spesifik menghambat germinasi (perkecambahan) dan pertumbuhan spora bakteri anaerobik pembentuk toksin mematikan, yaitu *Clostridium botulinum*. Nitrit mengganggu sistem metabolisme energi bakteri dengan cara merusak klaster besi-sulfur (*iron-sulfur clusters*) yang krusial bagi enzim respirasi mikroba.

b. Pembentukan Warna Khas (*Curing Color*)

   Nitrit di dalam daging akan tereduksi menjadi Nitrik Oksida (). Senyawa ini kemudian berikatan dengan mioglobin (pigmen alami daging) membentuk kompleks *Nitrosomyoglobin* yang menghasilkan warna merah cerah yang stabil. Ketika sosis atau kornet mengalami proses pemasakan thermal, kompleks ini berubah menjadi *Nitrosohemochrome* yang memberikan karakteristik warna merah muda (*pink*) permanen khas produk *curing.*

c. Efek Antioksidan

   Nitrit berperan sebagai antioksidan kuat yang memutus rantai radikal bebas, sehingga efektif mencegah ketengikan akibat oksidasi lipid (*warmed-over flavor*) pada produk daging olahan.

Meskipun nitrit memiliki sifat teknologis yang sulit digantikan secara sempurna, riset dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir mengalami pergeseran paradigma yang sangat masif terkait isu keamanan pangan. Terdapat dua

fokus utama dalam penelitian modern mengenai penggunaan nitrit pada produk ternak:

a. Pembatasan Regulasi Akibat Risiko *N-Nitrosamin*

Penelitian epidemiologi terbaru menegaskan kembali adanya korelasi kuat antara konsumsi daging olahan tinggi nitrit secara berlebihan dengan peningkatan risiko karsinogenisitas. Ketika daging olahan yang mengandung residu nitrit tinggi mengalami pemanasan suhu tinggi (seperti digoreng atau dibakar), ion nitrit bereaksi dengan amina sekunder hasil degradasi protein daging membentuk N-Nitrosamin (NAs), senyawa yang bersifat karsinogenik (pemicu kanker).

Sebagai respons ilmiah, badan regulasi pangan dunia, termasuk Uni Eropa (EFSA) per Oktober 2025 telah memperketat batas maksimum residu nitrit (dari 150 mg/kg diturunkan menjadi 80 mg/kg untuk beberapa produk daging olahan). Hal ini mendorong industri untuk menerapkan strategi reduksi kadar nitrit ke ambang batas paling minimal yang masih mampu menghambat *Clostridium botulinum* (Argemí-Armengol *et al.*, 2026).

b. Tren *Clean Label*: Alternatif Nitrit Berbasis Bahan Alami

Untuk memenuhi permintaan konsumen terhadap produk pangan sehat bebas bahan kimia sintetis (*clean label*), fokus riset terkini beralih pada pencarian bio-alternatif pengganti nitrit murni. Beberapa inovasi mutakhir meliputi:

1) Ekstrak Sayuran Kaya Nitrat Alami + *Starter Culture*: Penggunaan ekstrak seledri, lobak, atau bayam yang secara alami kaya akan senyawa nitrat. Ekstrak ini

dikombinasikan dengan bakteri fungsional (*starter culture* pereduksi nitrat seperti *Staphylococcus carnosus*) untuk mengubah nitrat alami menjadi nitrit secara perlahan di dalam matriks daging sosis. Metode ini mampu menghasilkan warna merah sosis yang stabil tanpa penambahan natrium nitrit murni.

2) Aplikasi Pewarna Alami dan Polifenol Tanaman: Kombinasi ekstrak tumbuhan kaya polifenol (seperti ekstrak rosemary, teh hijau, atau *hydroxytyrosol* dari zaitun) sebagai agen antimikroba dan antioksidan, yang kemudian dipadukan dengan senyawa pewarna alami seperti Angkak (*red yeast rice*) untuk memberikan pigmen merah visual yang identik pada produk kornet dan sosis.

Meskipun tren substitusi alami berkembang pesat, hasil riset menunjukkan bahwa penggantian nitrit secara total (100%) masih berisiko menurunkan stabilitas mikrobiologis produk dari ancaman bakteri patogen. Oleh karena itu, pendekatan terbaik saat ini di industri peternakan modern adalah bukan menghilangkan nitrit sepenuhnya, melainkan melakukan reduksi dosis nitrit seminimal mungkin melalui kombinasi pengaw*et al*ami (*hurdle technology*).

9.2.2 Garam Pengemulsi (*Emulsifying Salt*)

Garam pengemulsi adalah golongan BTP yang memiliki peran teknologis kritikal, khususnya dalam pembuatan keju olahan (*processed cheese*) dan produk emulsi daging seperti sosis, kornet, dan bakso (Kemenkes RI, 2012). Berbeda dengan agen pengemulsi konvensional (seperti

lesitin) yang bekerja menurunkan tegangan permukaan antarmuka minyak-air, garam pengemulsi bekerja secara spesifik mengubah karakteristik struktural dan fungsional protein di dalam matriks pangan asal ternak (Guinee *et al.*, 2004). Secara umum, garam pengemulsi berfungsi mendispersikan protein, meningkatkan kapasitas pengikatan air (*Water Holding Capacity*/WHC), serta mengikat lemak secara merata sehingga mencegah pemisahan fase (sineresis air atau eksudasi lemak) selama proses pengolahan (Feiner, 2006).

a. Pada Industri Keju Olahan (*Processed Cheese*)

Keju alami (seperti Cheddar) memiliki struktur gel protein kasein yang rapat karena diikat oleh ion kalsium (Ca^{2+}) jenuh, sehingga jika dilelehkan langsung, lemaknya akan terpisah (berminyak). Garam pengemulsi (seperti *disodium phosphate* atau *trisodium citrate*) bekerja melalui mekanisme:

1) Sekuestrasi Kalsium. Garam pengemulsi bertindak sebagai agen pengelat (*chelating agent*) yang merebut dan mengikat ion kalsium (Ca^{2+}) dari kompleks kalsium-parakaseinat.
2) Peptisasi dan Solubilisasi Kasein. Hilangnya kalsium menyebabkan protein kasein yang semula tidak larut menjadi terurai (terpeptisasi) dan menjadi lebih hidrofilik.
3) Pembentukan Emulsi Homogen. Kasein yang telah terlarut ini bertindak sebagai pengemulsi alami yang membungkus globula lemak secara rapat, menghasilkan keju olahan yang lembut, homogen, dan memiliki daya leleh (*meltability*) yang seragam saat dipanaskan.

b. Pada Industri Emulsi Daging (Sosis dan Bakso)

Dalam adonan daging, garam pengemulsi (utamanya dari golongan polifosfat seperti *Sodium Tripolyphosphate*/STPP) bekerja pada protein kontraktil otot melalui mekanisme (Tarté, 2009):

1) Ekstraksi Protein Miofibrilar. Polifosfat merangsang disosiasi kompleks aktomiosin menjadi aktin dan miosin yang larut dalam air.
2) Peningkatan Tekanan Osmotik. Garam ini membuka ruang di antara filamen protein, memungkinkan air terikat lebih kuat di dalam anyaman matriks gel protein miosin.
3) Stabilisasi Termal. Saat sosis atau bakso mengalami proses termal, matriks gel protein yang telah mengikat air tersebut akan mengalami koagulasi, memerangkap globula lemak di dalamnya, sehingga produk tetap kenyal dan tidak menyusut drastis.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan kesehatan, riset mengenai garam pengemulsi saat ini berfokus pada dua tren utama:

a. Formulasi *Low-Sodium* (Reduksi Natrium)

Sebagian besar garam pengemulsi komersial menggunakan basis Natrium (*Sodium*) yang berkolerasi dengan risiko hipertensi. Riset terbaru berfokus pada substitusi parsial hingga total natrium menggunakan basis Kalium (*Potassium*) seperti *Tripotassium Citrate* atau *Potassium Polyphosphate* (Cunha *et al.*, 2020). Untuk mengatasi kendala rasa pahit (*Metallic aftertaste*) dari

kalium murni, tren riset mengeksplorasi kombinasi garam kalium dengan penambah rasa alami seperti ekstrak ragi (Villalobos-Delgado *et al.*, 2018).

b. Pembatasan Asupan Fosfat dan Optimalisasi BTP Campuran

Sesuai dengan Peraturan (BPOM, 2021), penggunaan garam pengemulsi berbasis fosfat dikontrol ketat karena asupan fosfat total yang melampaui batas *Maximum Tolerable Daily Intake* (MTDI) dapat mengganggu kesehatan tulang dan ginjal (BPOM, 2021;Ritz *et al.*, 2012). Industri saat ini beralih ke penggunaan BTP Campuran yang menggabungkan golongan fosfat dan sitrat. Kombinasi ini memberikan efek sinergis yang mampu menurunkan dosis total penggunaan fosfat hingga 30% tanpa mengurangi stabilitas emulsi produk daging atau keju olahan (Buka *et al.*, 2022).

9.2.3 Pengental (*Thickeners*) dan Penstabil (*Stabilizer*)

Pengental dan penstabil adalah golongan BTP yang ditambahkan ke dalam pangan untuk meningkatkan viskositas (kekentalan) dan memelihara stabilitas sistem emulsi atau dispersi tanpa mengubah sifat dasar pangan tersebut (Kemenkes RI, 2012). Dalam industri hasil ternak, kedua hidrokoloid ini berperan kritikal pada dua matriks utama: produk emulsi daging (seperti bakso) dan produk olahan susu (seperti yogurt, keju, dan es krim) (Goff *et al.*, 2013; Tarté, 2009).

Selain penggunaan hidrokoloid komersial, penggunaan serat pangan alami dari sayuran lokal seperti wortel (Daucus carota L.) terbukti efektif dalam memperbaiki kualitas fisik produk emulsi. Kandungan serat kasar yang tinggi pada

sayuran tersebut mampu bertindak sebagai penstabil yang meningkatkan kapasitas pengikatan air (Water Binding Capacity). Hal ini secara signifikan dapat menurunkan nilai susut masak (cooking loss) pada nugget ayam seiring dengan meningkatnya level penambahan sayuran hingga 30% (Riskayanti, Hikmah, *et al.*, 2023). Integrasi serat ini tidak hanya meningkatkan nilai gizi tetapi juga membantu membentuk matriks gel yang menghasilkan tekstur produk yang lebih halus dan lembut.

Secara biokimia, komponen seperti karagenan, gelatin, atau gum alami bekerja dengan cara memerangkap molekul air bebas ke dalam struktur jaringan tiga dimensi (gel) yang dibentuknya, sehingga membatasi pergerakan air bebas (*free water*) dan mencegah kerusakan fisik produk (Dickinson, 2018).

a. Pada Industri Olahan Susu (Yogurt dan Es Krim)

1) Yogurt (Mencegah Sineresis)

Yogurt rentan mengalami sineresis, yaitu keluarnya air (whey) ke permukaan akibat rusaknya gel protein kasein selama penyimpanan. Penstabil seperti gelatin atau *High Methoxyl Pectin* (HMP) bekerja dengan membentuk kompleks pelindung bersama kasein. Hidrokoloid ini mengikat air bebas melalui ikatan hidrogen, sehingga struktur gel yogurt tetap kokoh, lembut, dan bebas sineresis (Aghajani *et al.*, 2012).

2) Es Krim (Mengontrol Kristalisasi Es)

Es krim adalah emulsi kompleks yang terdiri dari lemak, udara, dan air. Penstabil seperti *Locust Bean Gum* (LBG) atau *Guar Gum* berfungsi meningkatkan viskositas fase

cair tak beku (*unfrozen phase*). Peningkatan kekentalan ini secara drastis membatasi pergerakan molekul air, sehingga mencegah pertumbuhan kristal es menjadi berukuran besar selama fluktuasi suhu distribusi (*heat shock*). Hasilnya, es krim mempertahankan tekstur lembut (*smoothness*) di mulut (Goff *et al.*, 2013).

b. Pada Industri Olahan Daging (Bakso)

1) Pembentukan Karakteristik Kenyalan (Kenyal-Mudah Digigit)

Bakso komersial membutuhkan parameter tekstur kenyal yang khas. Karagenan (terutama jenis *Kappa-Carrageenan*) sangat luas digunakan karena memiliki kemampuan unik berinteraksi secara elektrostatik dengan protein daging (*miosin*). Saat adonan bakso direbus, kappa-karagenan membentuk gel *Termoreversibel* yang sangat kuat dan kaku yang berpenetrasi ke dalam matriks protein daging. Sinergi ini meningkatkan kekuatan gel total adonan, menghasilkan bakso dengan kekenyalan tinggi, daya gigit yang pas (*bite texture*), dan menurunkan susut masak (Ayadi *et al.*, 2009).

Riset hidrokoloid pengental dan penstabil pada produk hasil ternak saat ini didominasi oleh isu keberlanjutan (*sustainability*) dan fungsionalitas ganda:

a. Optimalisasi Gelatin Non-Mamalia untuk Pasar Halal dan *Clean Label*

Gelatin adalah salah satu penstabil terbaik untuk yogurt dan es krim karena kemampuannya meleleh tepat pada suhu tubuh manusia (37^0C), memberikan sensasi *creamy flavor release* yang superior (Karim *et al.*, 2009). Namun, isu

halal pada gelatin mamalia (babi) dan risiko penyakit *Bovine Spongiform Encephalopathy* (BSE) pada sapi mendorong pergeseran riset yang masif.

Riset terbaru berfokus pada gelatin kulit ikan (seperti ikan tuna atau nila) dan gelatin hasil samping ternak lokal (seperti gelatin kulit kambing atau kaki ayam). Modifikasi teknologi (misalnya kombinasi asam organik ringan dan ultrasonikasi) berhasil meningkatkan kekuatan gel (*bloom strength*) gelatin non-mamalia ini, sehingga mampu menyamai karakteristik fungsional gelatin komersial dalam memperbaiki viskositas yogurt rendah lemak (Abedinia *et al.*, 2020; Nikoo *et al.*, 2021).

b. *Hidrokoloid Eksopolisakarida* (EPS) dari Bakteri Asam Laktat (BAL)

Tren industri mengarah pada pengurangan penggunaan BTP kimia sintetis atau tambahan hidrokoloid luar untuk mengejar klaim *clean label* (produk minim bahan tambahan).

Dalam pembuatan yogurt, riset berfokus pada penggunaan kultur starter BAL (seperti *Streptococcus thermophilus* atau *Lactobacillus bulgaricus*) yang secara alami mampu mensekresikan *Eksopolisakarida* (EPS) selama proses fermentasi susu. EPS bertindak sebagai pengental alami *in-situ* yang merajut jaringan kasein secara langsung. Hasil riset menunjukkan yogurt yang diproduksi dengan BAL penghasil EPS memiliki viskositas alami yang tinggi dan stabilitas emulsi yang sangat baik tanpa perlu ditambahkan penstabil karagenan atau gelatin dari luar (Zannini *et al.*, 2016; Mende *et al.*, 2019).

c. Substitusi Lemak Hewani Menggunakan *Hydrocolloid-based Emulsion Gels*

Konsumen modern menuntut produk daging (bakso dan sosis) yang lebih rendah kolesterol dan rendah lemak jenuh hewan (babi/sapi).

Karagenan dan gum alami (seperti *konjac gum* atau alginat) kini diteliti bukan sekadar sebagai pengenyal bakso, melainkan diformulasikan bersama minyak nabati sehat (seperti minyak zaitun atau kanola) untuk membentuk gel emulsi (*emulsion gels*). Gel emulsi berbasis hidrokoloid ini diaplikasikan ke dalam adonan bakso untuk menggantikan fungsi lemak padat hewan. Riset membuktikan struktur fisik bakso tetap kenyal dan memiliki profil sensoris yang mirip dengan bakso tinggi lemak tradisional, namun dengan profil asam lemak yang jauh lebih sehat (Pintado *et al.*, 2018; de Souza Pagarini *et al.*, 2020).

9.2.4 Antioksidan (*Antioxidant*)

Antioksidan adalah golongan BTP yang digunakan untuk mencegah atau menghambat proses oksidasi lemak dan minyak, sehingga efektif mencegah terjadinya ketengikan (*rancidity*) serta perubahan warna (*discoloration*) pada produk pangan (Kemenkes RI, 2012). Di dalam industri hasil ternak, aplikasi antioksidan sangat krusial pada produk-produk yang kaya akan kandungan lipida atau asam lemak tidak jenuh, seperti mentega (*butter*), susu bubuk full cream, keju, serta produk daging olahan (sosis, kornet, dan daging kaleng) (Shahidi and Zhong, 2015).

Oksidasi lipid pada produk hewani umumnya berlangsung melalui mekanisme radikal bebas yang terbagi menjadi tiga tahapan utama: inisiasi, propagasi, dan terminasi (Damodaran and Parkin, 2017). Proses ini dipicu oleh faktor

lingkungan seperti paparan oksigen, cahaya, suhu tinggi, serta keberadaan katalis logam (misalnya zat besi/heme di dalam daging).

Oksidasi menghasilkan senyawa hidroperoksida yang tidak stabil, yang kemudian pecah menjadi senyawa volatil berantai pendek seperti aldehida, keton, dan alkohol. Senyawa-senyawa inilah yang bertanggung jawab atas timbulnya aroma dan rasa tengik (*warmed-over flavor*) serta penurunan nilai gizi akibat rusaknya asam lemak esensial dan vitamin larut lemak (Amaral *et al.*, 2018).

Eksplorasi antioksidan alami kini juga mencakup pemanfaatan sayuran utuh yang kaya senyawa fitokimia sebagai strategi diversifikasi untuk menutupi kelemahan produk olahan seperti nugget yang umumnya rendah serat dan vitamin. Dalam Penelitian (Riskayanti, Ali, *et al.*, 2023) penambahan brokoli (*Brassica oleracea* L.) dan wortel (*Daucus carota* L.) ke dalam nugget ayam tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, tetapi juga terbukti meningkatkan aktivitas antioksidan produk secara signifikan. Sebagai contoh, formulasi yang menggabungkan sayuran kaya antioksidan (seperti campuran 15% brokoli dan 15% kubis ungu) mampu meningkatkan kadar Vitamin C dan stabilitas oksidatif pada produk akhir.

Penggunaan bahan alami ini menjadi alternatif strategis di tengah pergeseran paradigma industri yang mulai membatasi penggunaan antioksidan sintetis seperti BHA dan BHT karena adanya isu toksikologi dan risiko karsinogenik. Selain memberikan perlindungan terhadap oksidasi, penambahan sayuran ini juga berfungsi meningkatkan profil gizi melalui penyediaan serat pangan, meskipun perlu diperhatikan bahwa proses pengolahan seperti pengukusan

dapat sedikit menurunkan kadar serat dibandingkan penggunaan sayuran dalam kondisi segar.

Antioksidan bekerja menghentikan kerusakan tersebut melalui dua mekanisme utama:

a. Antioksidan Primer (Pemutus Rantai/*Chain-Breaking Antioxidants*)
   Senyawa yang secara aktif mendonasikan atom hidrogen (H^+) kepada radikal bebas lipid sehingga mengubahnya menjadi senyawa yang stabil dan non-radikal. Contoh BTP dari golongan ini adalah BHA (*Butylated Hydroxyanisole*), BHT (*Butylated Hydroxytoluene*), Propil Galat, dan Tokoferol (Vitamin E).

b. Antioksidan Sekunder (Preventif)
   Bekerja dengan cara mengikat (mengkelat) logam pro-oksidan seperti besi (*Fe*) atau tembaga (*Cu*), menyerap sinar UV, atau menangkap oksigen singlet. Contohnya adalah Asam Sitrat dan Asam Askorbat (Vitamin C).

Riset aplikasi antioksidan pada produk ternak saat ini mengalami pergeseran paradigma yang sangat masif, didorong oleh tuntutan konsumen terhadap aspek kesehatan dan keamanan pangan:

a. Pembatasan Antioksidan Sintetis (BHA/BHT) dan Isu Toksikologi

   Secara historis, antioksidan sintetis seperti BHA dan BHT sangat populer di industri karena harganya yang murah dan stabilitas termalnya yang tinggi saat pengolahan daging kaleng. Namun, riset toksikologi modern membatasi penggunaannya dengan sangat ketat (BPOM, 2021).

Studi in-vivo jangka panjang menunjukkan bahwa konsumsi BHA dan BHT dalam dosis tinggi berpotensi memicu efek karsinogenik dan mengganggu sistem endokrin (hormonal) tubuh (Lourenço *et al.*, 2019). Oleh karena itu, *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) menetapkan ambang ADI yang sangat rendah untuk pengawet sintetis ini, mendorong industri peternakan dunia mulai membatasi atau bahkan mengeliminasi BHA/BHT dari formulasi produk mereka.

b. Eksplorasi Antioksidan Alami (*Green Antioxidants*) Berbasis Ekstrak Tanaman

Sebagai substitusi BHA/BHT, riset global berfokus pada pemanfaatan senyawa fitokimia (polifenol, flavonoid, dan terpenoid) dari limbah agroindustri atau tanaman herbal sebagai antioksidan alami (Lorenzo *et al.*, 2018).

Ekstrak daun rosemary (*Rosmarinus officinalis*), ekstrak teh hijau (*Camellia sinensis*), dan ekstrak kulit buah (seperti kulit delima atau kulit anggur) terbukti secara ilmiah memiliki efektivitas yang setara, bahkan terkadang melebihi BHA/BHT dalam menjaga stabilitas oksidatif sosis daging sapi dan mentega selama penyimpanan dingin (Munekata *et al.*, 2020). Senyawa aktif seperti *asam karnosat* pada rosemary bekerja sangat efektif memutus rantai radikal bebas pada matriks lemak hewani.

c. Teknologi *Active Packaging* (Kemasan Aktif) Berbasis Antioksidan Alami

Salah satu kelemahan antioksidan alami jika dicampur langsung ke dalam produk ternak (seperti susu atau daging) adalah risiko mengubah profil sensoris (rasa dan aroma) produk asli karena aroma herba yang kuat.

Tren riset terbaru menyiasati hal ini dengan menerapkan Kemasan Aktif (*Active Packaging*). Antioksidan alami (seperti tokoferol murni atau esensial oil dari cengkeh/serai) tidak dicampurkan ke dalam makanan, melainkan diinkorporasikan ke dalam matriks film kemasan polimer berbasis bio (misalnya kemasan dari kitosan atau whey protein isolate). Selama penyimpanan, senyawa antioksidan ini akan bermigrasi secara perlahan (*controlled release*) ke permukaan daging segar atau mentega untuk menangkap radikal bebas dan oksigen. Teknologi ini terbukti mampu memperpanjang masa simpan produk ternak tanpa mempengaruhi rasa aslinya (Domínguez *et al.*, 2022; Ribeiro *et al.*, 2021).

9.2.5 Gas untuk Kemasan (*Packaging Gas*)

Gas untuk kemasan adalah golongan BTP berupa gas yang dimasukkan ke dalam wadah pangan sebelum, saat, atau setelah pengisian untuk melindungi produk dari kerusakan kimiawi dan mikrobiologis (Kemenkes RI, 2012). Di dalam industri hasil ternak, aplikasi gas ini memegang peranan yang sangat krusial, khususnya pada teknologi *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) atau Pengemasan Atmosfer Terodifikasi (McMillin, 2017).

Teknologi MAP bekerja dengan cara menggantikan udara normal di dalam kemasan (yang mengandung sekitar 21% O_2 , 78% N_2, dan 0,04% CO_2) dengan campuran gas fungsional dalam komposisi tertentu yang disesuaikan dengan karakteristik produk ternak yang dikemas, seperti daging segar, keju, atau susu bubuk (Yam and Lee, 2012).

Ada tiga jenis gas utama yang diizinkan dan digunakan secara sinergis dalam sistem MAP hasil ternak, di mana

masing-masing memiliki peran biokimia yang spesifik (Robertson, 2016):

a. Karbon Dioksida (CO_2): Agen Antimikroba

   CO_2 adalah gas fungsional terpenting dalam MAP untuk menghambat pertumbuhan mikroba pembusuk pembentuk lendir dan asam (seperti *Pseudomonas* spp.).

   Gas ini larut dalam fase air dan lemak produk ternak, lalu membentuk asam karbonat (CO_2) yang menurunkan pH intraseluler mikroba, mengganggu permeabilitas membran sel, serta menghambat aktivitas enzim esensial bakteri. Efek bakteriostatik ini secara signifikan memperpanjang masa simpan daging dan keju (Jakobsen and Bertelsen, 2002).

b. Oksigen (O_2): Pengontrol Warna dan Respirasi

   Meskipun oksigen umumnya dihindari karena memicu ketengikan, gas konsentrasi tinggi (60–80%) sengaja digunakan pada daging merah segar (seperti daging sapi). Oksigen dosis tinggi menjaga pigmen mioglobin tetap berada dalam bentuk *oksimioglobin* yang berwarna merah cerah, yang menjadi preferensi utama konsumen saat membeli daging segar di ritel (Mancini and Hunt, 2005).

c. Nitrogen (N_2): Gas Pengisi Inert (*Filler Gas*)

   Nitrogen adalah gas inert yang tidak berbau, tidak berwarna, dan memiliki kelarutan yang sangat rendah dalam air maupun lemak. Fungsi utamanya adalah sebagai gas pengisi untuk mencegah kolaps atau mengempisnya bungkusan kemasan akibat larutnya gas ke dalam matriks pangan (*pack collapse*). Selain itu, digunakan untuk

mendesak oksigen keluar pada produk sensitif oksidasi seperti susu bubuk (Sandhya, 2010).

Riset aplikasi gas kemasan pada produk hasil ternak saat ini berfokus pada optimalisasi kualitas visual, pengurangan limbah pangan (*food waste*), dan keberlanjutan:

a. Optimalisasi MAP Karbon Monoksida (*CO*) Konsentrasi Rendah

   Kendala utama pengemasan daging sapi dengan MAP Oksigen Tinggi (*High-O_2* MAP) adalah akselerasi oksidasi lipid yang memicu ketengikan, meskipun warnanya tetap merah cerah.

   Tren riset global beralih ke penggunaan MAP Oksigen Sangat Rendah dengan Penambahan Karbon Monoksida (*Ultra-low O_2 with CO MAP*). Karbon monoksida dalam dosis sangat rendah (sekitar 0,4–1%) dikombinasikan dengan CO_2 dan N_2. Gas *CO* akan berikatan kuat dengan mioglobin membentuk *karboksamioglobin* yang memberikan warna merah cerah yang sangat stabil, namun tanpa risiko oksidasi lipid karena kadar O_2 ditekan hingga hampir 0% (Van Rooyen *et al.*, 2017; Ramanathan *et al.*, 2020). Penggunaan metode ini memperpanjang masa simpan daging segar secara drastis sekaligus mempertahankan kualitas gizinya.

b. Penerapan MAP pada Produk Susu Bubuk dan Keju untuk Menahan Sineresis

   Susu bubuk *full cream* sangat rentan terhadap kerusakan cita rasa akibat oksidasi asam lemak tak jenuh yang menghasilkan senyawa heksanal (aroma tengik/apek).

Riset terbaru mengoptimalkan sistem pengosongan udara yang dilanjutkan dengan pengisian gas nitrogen murni (100% N_2) atau campuran N_2 dan CO_2 hingga kadar oksigen sisa (*residual oxygen*) di dalam kaleng atau kemasan kantong aluminium susu bubuk berada di bawah 0,5%. Langkah ini terbukti secara ilmiah mampu menjaga stabilitas kelarutan bubuk susu dan mempertahankan kandungan vitamin larut lemak selama masa penyimpanan hingga dua tahun (Carić *et al.*, 2021). Pada produk keju olahan, kombinasi CO_2/ N_2 (rasio 30:70) digunakan untuk mencegah pertumbuhan jamur permukaan tanpa mengubah karakteristik tekstur keju.

c. Integrasi MAP dengan *Smart/Intelligent Packaging* (Kemasan Cerdas)

Salah satu kelemahan kemasan gas MAP adalah risiko kebocoran mikro pada segel plastik yang tidak terlihat oleh mata telanjang, yang menyebabkan gas fungsional keluar dan oksigen luar masuk merusak produk hewani.

Industri peternakan modern mulai mengintegrasikan gas kemasan dengan Kemasan Cerdas (*Intelligent Packaging*) berupa sensor atau indikator warna interior. Sensor berbasis kolorimetri (misalnya menggunakan pewarna alami antosianin atau kompleks kimia sensitif) ditanam di dalam kemasan untuk memonitor rasio gas secara *real-time*. Jika terjadi kebocoran yang menurunkan kadar CO_2 atau meningkatkan kadar oksigen di atas ambang batas aman, indikator akan berubah warna (misalnya dari biru menjadi merah). Teknologi ini memberikan jaminan keamanan pangan langsung kepada distributor dan konsumen di toko ritel (Puligundla *et al.*, 2012; You *et al.*, 2022).

9.2.6 Peretensi Warna (Colour Retention Agent)

Peretensi warna adalah golongan BTP yang berfungsi untuk mempertahankan, memantapkan, atau memperkuat warna alami dari produk pangan tanpa menyebabkan perubahan warna menjadi pudar atau menyimpang (*discoloration*) selama proses pengolahan, penyimpanan, dan pemasaran (Kemenkes RI, 2012). Dalam industri hasil ternak, penampilan visual khususnya warna merah segar pada daging atau kuning keemasan pada produk telur dan mentega merupakan atribut mutu organoleptik paling krusial karena menjadi parameter utama yang dinilai konsumen dalam mengambil keputusan pembelian (Mancini and Hunt, 2005).

Berbeda dengan Pewarna (*Colours*) yang sengaja menambahkan pigmen baru dari luar, peretensi warna bekerja secara biokimia di dalam matriks pangan untuk memproteksi, menstabilkan, atau mengikat pigmen alami yang sudah ada di dalam jaringan hewani tersebut (seperti mioglobin pada daging atau karotenoid pada produk susu/telur) agar tidak mengalami degradasi akibat paparan oksigen, cahaya, dan panas (Suman and Joseph, 2013).

Dalam konteks inovasi produk, warna merupakan atribut organoleptik pertama yang memengaruhi preferensi konsumen. Hasil penelitian (Riskayanti, *et al.*, 2023) menunjukkan bahwa penambahan sayuran pada produk olahan daging ayam mengubah intensitas dan retensi warna visual karkas secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa inkorporasi bahan alami seperti brokoli dan wortel dapat berfungsi secara multifungsi sebagai 'pewarna' alami sekaligus pengaya gizi (serat dan vitamin) yang mampu

mengubah profil visual produk secara positif tanpa memerlukan penggunaan pewarna sintetis.

a. Stabilisasi Kompleks Mioglobin pada Daging Olahan

   Senyawa peretensi warna yang paling umum digunakan dalam teknologi daging adalah Asam Askorbat (Vitamin C), Natrium Askorbat, atau Asam Eritorbat.

   Dalam proses *curing*, senyawa askorbat bertindak sebagai agen pereduksi kuat yang mempercepat konversi metmioglobin (pigmen cokelat tidak segar) menjadi mioglobin (pigmen merah). Keberadaan askorbat memastikan ion besi (*Fe*) pada cincin heme mioglobin tetap berada dalam bentuk tereduksi (Fe^{2+}/*ferrous*), sehingga pembentukan kompleks *nitrosohemochrome* (warna merah muda sosis) berlangsung lebih cepat, seragam, dan tidak mudah pudar akibat fotooksidasi lampu pajangan ritel (Honikel, 2008).

b. Proteksi Pigmen Karotenoid pada Produk Susu dan Lemak Hewani

   Pada produk seperti mentega (*butter*) atau keju, warna kuning alami berasal dari pigmen beta-karoten yang sensitif terhadap oksidasi.

   Peretensi warna sekunder seperti Garam Pembentuk Kompleks (Sekuestran) atau asam organik ringan bekerja mengikat logam bebas (*Fe* dan *Cu*) yang mengkatalisis pemecahan rantai konjugasi karotenoid, sehingga degradasi warna kuning menjadi putih pucat (*bleaching effect*) dapat dicegah (Damodaran and Parkin, 2017).

Riset mengenai agen peretensi warna pada produk hewani saat ini diarahkan pada pemenuhan tren *clean label* dan pemanfaatan teknologi enkapsulasi berbasis bahan alami:

a. Aplikasi Fitokimia Tanaman sebagai Peretensi Warna Alami Multi-Fungsional

Desakan konsumen untuk mereduksi penggunaan senyawa kimia sintetis (seperti eritorbat atau askorbat komersial) mendorong eksplorasi asam organik alami dari tumbuhan.

Riset terbaru mengoptimalkan ekstrak buah yang kaya akan asam askorbat alami dan polifenol (seperti ekstrak buah Acerola, Camu-camu, atau ekstrak kulit delima) ke dalam adonan daging sapi olahan (sosis dan burger). Senyawa aktif polifenol dalam ekstrak ini bekerja secara sinergis: memutus rantai radikal bebas pembawa fasa oksidasi lipid sekaligus menjaga stabilitas pigmen oksimioglobin daging segar tetap merah cerah. Metode ini mampu mempertahankan warna merah alami daging 30% lebih lama pada penyimpanan suhu dingin (4^0C) dibandingkan kontrol (Lorenzo *et al.*, 2018; Munekata *et al.*, 2020).

b. Teknologi Mikroenkapsulasi untuk *Controlled-Release* Peretensi Warna

Salah satu kelemahan asam askorbat atau pengatur keasaman jika langsung dicampurkan ke dalam adonan daging adalah sifatnya yang terlalu reaktif. Senyawa ini dapat menurunkan pH adonan secara mendadak sebelum proses pemasakan dimulai, yang berakibat pada penurunan kapasitas ikat air (WHC) protein daging dan membuat tekstur sosis menjadi rapuh.

Tren riset terkini menerapkan teknologi Mikroenkapsulasi. Agen peretensi warna (seperti natrium askorbat) disalut di dalam dinding pelindung hidrofobik berskala mikro (misalnya menggunakan lipid

terhidrogenasi atau maltodekstrin). Peretensi warna ini terjaga aman di dalam kapsul selama pencampuran adonan, dan baru akan lepas secara perlahan dan terkontrol (*controlled-release*) ketika suhu pemasakan mencapai titk leleh salutannya (>60^{0}C). Teknologi ini terbukti menghasilkan stabilitas warna merah muda yang sangat homogen pada sosis tanpa mengorbankan kekenyalan teksturnya (Ozaki *et al.*, 2021; Sebranek *et al.*, 2021).

c. Pencegahan Efek *Green Discoloration* pada Daging Kemasan MAP

Pada produk daging segar yang dikemas menggunakan gas oksigen tinggi (*High-O_2 MAP*), paparan cahaya lampu ritel dalam jangka panjang berisiko memicu pembentukan senyawa *choleglobin* atau *sulfmyoglobin* yang menyebabkan permukaan daging berubah warna menjadi kehijauan (*green discoloration*).

Peneliti memanfaatkan kombinasi peretensi warna askorbat terenkapsulasi yang disemprotkan secara tipis pada permukaan daging sesaat sebelum dikemas. Pendekatan ini berhasil memblokir jalur reaksi pembentukan senyawa sulfur-mioglobin berpigmen hijau tersebut, sehingga daging tetap mempertahankan estetika visual merah segarnya sepanjang masa kedaluwarsa distribusi (Ramanathan *et al.*, 2020; You *et al.*, 2022).

9.3 Regulasi Penggunaan BTP Campuran

Pada skala industri komersial, aplikasi sediaan BTP jarang diaplikasikan dalam bentuk zat tunggal murni, melainkan berupa BTP Campuran. Berdasarkan Peraturan

BPOM Nomor 29 Tahun 2021, BTP Campuran didefinisikan sebagai sediaan yang terdiri atas dua atau lebih jenis BTP, baik dari golongan yang sama maupun berbeda, dengan atau tanpa penambahan bahan penolong (*processing aids*) ataupun bahan pengisi (*carrier*) yang diizinkan.

Penggunaan BTP campuran bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses (misalnya fungsionalitas ganda sebagai pengenyal sekaligus pengawet) dan mempermudah homogenitas pencampuran bumbu pada matriks daging atau susu. Namun, dalam pengolahan hasil ternak, terdapat aturan hukum dan aspek toksikologi yang sangat ketat terkait formulasi BTP Campuran demi menjaga keamanan pangan (*food safety*):

9.3.1 Larangan Penggabungan Kelompok Preservatif Tertentu (Pasal 6)

Regulasi nasional secara tegas melarang keras pembuatan maupun peredaran BTP Campuran yang menggabungkan golongan Nitrat/Nitrit secara bersamaan dengan golongan Sulfit (seperti *sulfur dioksida, natrium sulfit, natrium metabisulfit*, atau *potasium bisulfit*) dalam satu sediaan formulasi yang sama.

Larangan ini didasarkan pada potensi interaksi kimiawi antagonis yang merugikan. Ketika senyawa sulfit (yang bersifat reduktor kuat) dicampurkan langsung dengan nitrit dalam satu media, sulfit dapat mereduksi nitrit secara prematur sebelum diaplikasikan ke dalam makanan. Interaksi ini tidak hanya menurunkan efektivitas fungsional pengawetan nitrit terhadap spora *Clostridium botulinum* secara tidak terkontrol, tetapi juga memicu reaksi radikal yang berisiko mempercepat pembentukan senyawa

nitrosamin teroksidasi yang bersifat karsinogenik dan mutagenik bagi konsumen (Honikel *et al.*, 2008; Sebranek *et al.*, 2021).

Industri pengolahan daging (seperti pabrik sosis atau kornet yang menggunakan nitrit) tidak boleh membeli atau menggunakan bumbu instan campuran (*pre-mix*) yang di dalamnya juga mengandung pengawet golongan sulfit.

9.3.2 Prinsip Takaran Penggunaan Paling Kecil (Pasal 9)

Apabila suatu formulasi BTP Campuran diproduksi dan ditujukan untuk digunakan pada beberapa kategori pangan hasil ternak yang berbeda di mana masing-masing kategori memiliki batas maksimum penggunaan yang berbeda pula maka produsen wajib mematuhi aturan penandaan takaran. Regulasi menetapkan bahwa takaran penggunaan maksimum BTP Campuran yang dicantumkan pada label kemasan harus didasarkan pada takaran penggunaan terkecil di antara kategori pangan tersebut.

Berdasarkan Pasal 9 Peraturan BPOM No. 29 Tahun 2021, instruksi takaran penggunaan maksimum BTP campuran tersebut yang wajib dicantumkan pada label produk komersial adalah takaran yang mengacu pada batas 1500 mg/kg (kategori sosis/daging olahan yang memiliki ambang paling kecil).

Langkah ini diambil sebagai tindakan preventif (*precautionary principle*) di tingkat hulu industri. Hal ini memastikan bahwa jika peternak atau industri rumah tangga menggunakan sediaan campuran tersebut untuk berbagai produk hilir peternakan mereka, konsumen akhir tetap terlindungi dan tidak terpapar konsentrasi akumulatif BTP

yang berlebihan atau melebihi ambang batas *Acceptable Daily Intake* (ADI).

9.4 Bahan yang Dilarang Digunakan sebagai BTP

Perlindungan konsumen dari bahaya kimiawi mutlak dilakukan dengan mengawasi secara ketat bahan-bahan non-pangan berbahaya. Berdasarkan Lampiran II Permenkes No. 033 Tahun 2012, pemerintah secara tegas melarang penggunaan senyawa-senyawa berikut dalam produk pangan:

9.4.1 Asam Borat dan Senyawanya (Boraks)

Asam borat (H_3BO_3) dan natrium tetraborat dekahidrat ($Na_2B_4O_7, 10H_2O$ atau boraks) merupakan senyawa kimia turunan boron yang diklasifikasikan sebagai bahan non-pangan yang berbahaya. Berdasarkan Lampiran II Permenkes RI Nomor 033 Tahun 2012, boraks secara mutlak dilarang keras digunakan sebagai Bahan Tambahan Pangan (BTP) dalam kondisi dan dosis sekecil apa pun.

Di dalam industri sekunder yang menyimpang, boraks sering kali disalahgunakan oleh produsen nakal dalam pembuatan produk olahan daging komersial seperti bakso, sosis, dan somay.

Secara fungsional di luar pangan, boraks bertindak sebagai agen pengental, antiseptik, dan pengawet kayu. Ketika ditambahkan ke dalam adonan bakso atau sosis, boraks memanipulasi struktur protein daging melalui mekanisme berikut:

a. Ikatan Silang Matriks Protein (*Protein Cross-Linking*)

Ion borat ($B\ (OH)_4^-$) berinteraksi secara kimiawi dengan gugus hidroksil dari polimer karbohidrat/pati (tepung tapioka) dan gugus fungsional protein daging (aktin dan miosin). Interaksi ini membentuk ikatan silang (*cross-link*) kovalen yang sangat kuat.

b. Manipulasi Tekstur

Pembentukan jaringan tiga dimensi yang kaku akibat boraks ini meningkatkan kapasitas pengikatan air secara paksa, sehingga menghasilkan tekstur bakso atau sosis yang sangat kenyal, renyah saat digigit (*crunchy*), tidak mudah hancur selama perebusan berulang, dan memiliki daya simpan visual yang tampak kokoh.

Boraks memiliki sifat toksisitas yang tinggi karena tubuh manusia tidak memiliki mekanisme metabolik khusus untuk mendetoksifikasi senyawa boron dalam jumlah besar.

a. Sifat Akumulatif (Toksisitas Kronis)

Setelah dikonsumsi melalui bakso atau sosis yang tercemar, boraks diserap secara cepat oleh saluran pencernaan. Namun, proses ekskresinya melalui urine berlangsung sangat lambat dan tidak efisien. Akibatnya, senyawa ini bersifat akumulatif (menumpuk dari hari ke hari) di dalam jaringan tubuh, dengan konsentrasi tertinggi mengendap pada organ hati (hepar), ginjal, dan otak.

b. Toksisitas Akut

Konsumsi boraks dalam dosis tinggi secara langsung dapat memicu gejala keracunan akut, meliputi mual muntah yang hebat, diare hebat bercampur darah, sakit kepala, demam, sianosis (kulit kebiruan akibat kekurangan oksigen), kerusakan hebat pada mukosa lambung, bahkan

dapat memicu kematian pada anak-anak jika dosis mencapai 5–10 gram.

c. Toksisitas Kronis (Kerusakan Jangka Panjang)

Paparan boraks dosis rendah yang terjadi secara terus-menerus (*continuous low-dose exposure*) dalam jangka panjang memicu kerusakan organ yang bersifat ireversibel (tidak bisa kembali normal):

1) Nefrotoksik (Kerusakan Ginjal). Akumulasi boron memicu stres oksidatif yang merusak tubulus proksimal ginjal, memicu glomerulonefritis, hingga berujung pada gagal ginjal kronis.
2) Hepatotoksik (Kerusakan Hati). Boraks memicu perlemakan hati (*fatty liver*) dan nekrosis (kematian sel) jaringan hati, yang ditandai dengan melonjaknya kadar enzim SGOT dan SGPT dalam darah.

Riset toksikologi dan teknologi pangan terkini memfokuskan perhatian pada dampak genotoksik boraks serta pengembangan metode deteksi cepat (*rapid test*) di lapangan:

a. Pembuktian Efek Genotoksik dan Sitotoksik (Riset Terkini)

Studi biologi molekuler in-vitro dan in-vivo terbaru menegaskan bahwa boraks tidak hanya merusak organ secara fisik, melainkan juga bersifat genotoksik (merusak materi genetik).

Riset menunjukkan bahwa paparan residu boraks pada sel mamalia memicu fragmentasi untai DNA dan meningkatkan frekuensi aberasi kromosom serta pembentukan mikronukleus. Boraks secara signifikan meningkatkan akumulasi radikal bebas *Reactive Oxygen Species* (ROS) di dalam sel, yang menginduksi apoptosis

(kematian sel terprogram) secara prematur pada sel-sel reproduksi (memasuki fase sterilitas/kemandulan pada pria) (Turkez *et al.*, 2021; Xing *et al.*, 2024).

b. Inovasi Metode Deteksi Cepat (*Rapid Test Kit*) Berbasis Bahan Alami

Untuk melindungi konsumen, riset teknologi pangan saat ini gencar mengembangkan alat uji cepat (*screening kit*) yang murah dan praktis agar dapat digunakan oleh mahasiswa, petugas dinas kesehatan, maupun masyarakat awam di pasar tradisional.

Metode konvensional menggunakan kertas kurkuma (ekstrak kunyit) yang menghasilkan perubahan warna merah bata sering kali kurang akurat jika menghadapi matriks bakso yang kompleks. Riset terbaru mengembangbiakkan strip indikator berbasis nanoselulosa yang diimpregnasi dengan kurkumin murni. Sensor berbasis nanoteknologi ini memiliki sensitivitas tinggi, mampu mendeteksi keberadaan boraks pada bakso hingga kadar sangat rendah (*Parts Per Million* / ppm) hanya dalam waktu kurang dari 2 menit melalui perubahan warna visual yang kontras (Kaur *et al.*, 2023; Wijaya *et al.*, 2025).

c. Substitusi Alami Pengenyal Bakso Komersial (*Safe Food Inovations*)

Menghadapi pelarangan total boraks, riset peternakan modern memberikan solusi kepada para pengrajin bakso lokal untuk beralih ke agen pengenyal alami yang legal dan menyehatkan tubuh.

Karagenan, isolat protein kedelai (*Soy Protein Isolate*), transglutaminase (enzim "lem daging" alami), serta STPP (Natrium Polifosfat) yang digunakan sesuai batas maksimum regulasi BPOM terbukti secara ilmiah mampu

menghasilkan karakteristik kekenyalan bakso sapi yang identik dengan bakso boraks, namun 100% aman bagi kesehatan konsumen (Pintado *et al.*, 2021).

9.4.2 Formalin (Formaldehida)

Formalin adalah solusi berair yang mengandung sekitar 37%–40% gas formaldehida (CH_2O) dalam air, yang biasanya distabilkan dengan menambahkan 10%–15% metanol untuk mencegah polimerisasi. Berdasarkan Lampiran II Permenkes RI Nomor 033 Tahun 2012, formalin diklasifikasikan sebagai bahan kimia non-pangan berbahaya yang dilarang keras digunakan sebagai Bahan Tambahan Pangan (BTP) dalam bentuk dan dosis apa pun.

Di dalam praktik industri sekunder yang melanggar hukum, formalin sering kali disalahgunakan sebagai agen pengawet ilegal pada produk peternakan yang mudah rusak (*perishable*), seperti daging ayam segar, karkas unggas, ikan, serta produk olahan daging seperti bakso.

Secara komersial di luar industri pangan, formalin digunakan sebagai cairan pembersih, desinfektan, pembasmi hama, dan pengawet mayat. Ketika disalahgunakan pada daging ayam segar atau bakso, formalin memanipulasi komponen protein hewani melalui mekanisme berikut:

a. Denaturasi dan Koagulasi Protein

   Formaldehida adalah senyawa elektrofilik yang sangat reaktif. Ketika berkontak dengan daging, senyawa ini bereaksi cepat dengan gugus amino bebas pada residu asam amino (terutama lisin) dari protein daging (miosin dan aktin). Reaksi ini membentuk jembatan metilen

(*methylene bridges*) inter- dan intra-molekul yang mengikat silang protein secara permanen.

b. Efek Tekstur dan Pengawetan Ekstrem

Proses pengikatan silang ini menyebabkan protein daging mengalami koagulasi dan mengereras. Efek visualnya, daging ayam atau bakso menjadi bertekstur sangat kenyal, kencang, tidak mudah hancur, dan tidak dihinggapi lalat karena serangga mendeteksi aroma kimiawi yang menyengat. Sifat antimikrobanya yang kuat secara ekstrem menghentikan aktivitas bakteri pembusuk, sehingga daging ayam atau bakso tidak membusuk meskipun disimpan berhari-hari pada suhu ruang.

Formaldehida telah dikategorikan oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC) ke dalam Grup 1, yaitu senyawa yang terbukti karsinogenik kuat pada manusia (*known human carcinogen*).

a. Mekanisme Karsinogenisitas (Pemicu Kanker)

Di tingkat seluler, gas formaldehida yang terlepas dari makanan atau terserap di lambung memicu stres oksidatif masif yang menghasilkan radikal bebas merusak. Senyawa ini berpenetrasi ke dalam inti sel dan bereaksi langsung dengan DNA, memicu terbentuknya ikatan silang DNA-protein (*DNA-protein crosslinks* / DPCs) dan ikatan silang antar-untai DNA (*DNA-DNA interstrand crosslinks*). Kegagalan sel dalam memperbaiki kerusakan DPCs ini menyebabkan ketidakstabilan genomik, mutasi gen, aberasi kromosom, dan pembelahan sel yang tidak terkendali, yang berujung pada kanker (terutama kanker lambung, nasofaring, dan leukemia).

b. Toksisitas Akut

Mengonsumsi pangan tercemar formalin dapat menyebabkan iritasi parah dan rasa terbakar pada lapisan mukosa mulut, tenggorokan, dan saluran pencernaan. Gejala akut meliputi nyeri perut hebat, mual, muntah darah, diare parah, hematuria (urine berdarah), penurunan tekanan darah secara drastis (syok), hingga kematian akibat kegagalan sistem sirkulasi darah.

c. Toksisitas Kronis

Paparan formalin dosis rendah secara terus-menerus memicu kerusakan organ yang bersifat sistemik, meliputi degenerasi sel-sel hati (*hepatotoksik*), kerusakan tubulus ginjal (*nefrotoksik*), gangguan neurologis (sakit kepala kronis dan insomnia), serta kerusakan mukosa lambung yang memicu gastritis kronis hingga ulkus peptikum.

Riset terbaru di bidang keamanan pangan global berfokus pada mitigasi residu formalin, identifikasi formaldehida alami (*endogenous*), serta pengembangan alat deteksi pintar:

a. Pembedaan Antara Formalin Ilegal dan Formaldehida Alami (*Endogenous Formaldehyde*)

Salah satu tantangan ilmiah terbesar dalam penegakan hukum keamanan pangan saat ini adalah fakta biokimia bahwa beberapa bahan pangan asal ternak dapat menghasilkan formaldehida secara alami dalam jumlah sangat sedikit melalui proses metabolisme pasca-mortem.

Riset terbaru menunjukkan bahwa melalui jalur demetilasi enzimatik senyawa kimia tertentu (seperti *trimethylamine oxide*/TMAO) pada produk laut atau daging tertentu selama penyimpanan dingin, dapat terbentuk

formaldehida alami (*endogenous*) berkisar antara 1–5 ppm. Oleh karena itu, riset kurun waktu ini berfokus pada penentuan ambang batas dasar (*baseline threshold*) yang akurat, sehingga petugas laboratorium dapat membedakan secara valid antara produk yang murni mengandung formaldehida alami akibat degradasi pasca-mortem dengan produk yang sengaja direndam formalin kimiawi ilegal (amplitudo kadar di atas 20 ppm) (Wang *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2025).

b. Pengembangan Biosensor Kolorimetri Berbasis *Smartphone* untuk Deteksi Cepat

Metode konvensional laboratorium untuk menguji formalin (seperti *kromatografi gas*/GC-MS) membutuhkan waktu lama, biaya mahal, dan persiapan sampel yang rumit.

Peneliti saat ini berhasil mengembangkan biosensor kertas pintar hidrogel yang diintegrasikan dengan aplikasi *smartphone*. Sensor ini diimpregnasi dengan enzim *formaldehyde dehydrogenase* (FDH) atau reagen pensintesis warna yang sangat spesifik. Ketika ekstrak daging ayam atau bakso diteteskan ke atas kertas sensor, akan terjadi perubahan warna instan. Pengguna cukup memotret kertas tersebut menggunakan kamera *smartphone*, dan aplikasi berbasis algoritma kolorimetri digital akan langsung membaca konsentrasi kadar formalin secara kuantitatif hingga akurasi tingkat mikro-molar di lokasi pasar (Kim *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2026).

c. Inovasi Metode Dekontaminasi Memasak (Reduksi Residu)

Mengingat masih adanya kasus penyalahgunaan formalin di pasar tradisional negara berkembang, riset teknologi domestik diarahkan pada metode perlakuan

sebelum memasak untuk mereduksi residu kimia tersebut pada daging ayam.

Studi terbaru membuktikan bahwa pencucian daging ayam segar menggunakan air mengalir saja tidak cukup efektif karena formalin telah mengikat protein daging. Namun, perendaman daging ayam dalam larutan asam organik alami encer (seperti asam sitrat dari perasan jeruk nipis atau cuka apel 1%–2%) selama 15–20 menit, diikuti dengan perebusan pada suhu , mampu memutuskan sebagian jembatan metilen protein-formalin dan melarutkannya ke dalam air rebusan. Proses kombinasi ini terbukti mampu mendegradasi dan mereduksi kadar residu formalin hingga mencapai 75%–85%, sehingga menurunkan risiko toksisitasnya sebelum dikonsumsi (Sari *et al.*, 2023; Nugroho *et al.*, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

Argemí-Armengol, I. *et al.* (2026) 'Reduced Nitrates/Nitrites and Natural Additives in Organic Fermented Dry-Cured Sausages: Effects on Microbiological Safety, Quality, and Consumer Acceptance', *Journal of Food Science*, 91(3), pp. 1–14. Available at: https://doi.org/10.1111/1750-3841.70985.

Amaral, A. B., Silva, M. V., & Lannes, S. C. (20180. Lipid oxidation in meat and meat products and technologies for its inhibition. *Food Science and Technology*, 38(4), 563–574

BPOM (2021) '[PerBPOM] Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 29 Tahun 2021 Tentang Persyaratan Bahan Tambahan Pangan Campuran', pp. 1–23.

Carić, M., Milanović, S., & Đurđević, D. (2021). Effect of modified atmosphere packaging on chemical and sensory properties of whole milk powder during long-term storage. *Journal of Dairy Research*, 88(2), 204–211.

Chamidah, A. (2020) 'AONORI YANG DIPERKAYA SPIRULINA DAN EKSTRAK SARGASSUM SP. SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL', *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.01.12.

Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press.

Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Lorenzo, J. M., & Munekata, P. E. (2018). Active packaging films with natural antioxidants for meat and meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 81–91.

Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 68–76.

Jakobsen, M., and Bertelsen, G. (2002). The use of modified atmosphere packaging and molecular biology in meat packaging. *Meat Science*, 62(3), 337–352.

Kementerian Kesehatan RI (Kemenkes RI). (2012). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 033 Tahun 2012 tentang Bahan Tambahan Pangan*. Jakarta: Kemenkes RI.

Kaur, M., Kahlon, S. W., & Singh, J. (2023). Nanocellulose-based colorimetric test strips for smart and rapid detection of borax in meat products. *Food Chemistry*, 405, 134812.

Kim, J., Park, S., & Master, E. (2024). Enzymatic biosensors utilizing formaldehyde dehydrogenase for smart packaging and food safety screening. *Biosensors and Bioelectronics*, 248, 115910.

Leães, Y.S.V. *et al.* (2026) 'Health risks of nitrite in processed meats and strategies for its reduction through natural alternatives and emerging technologies', *Ciencia Rural*, 56(4), pp. 1–11. Available at: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20250329.

Liu, Y., Zhang, X., & Zhou, J. (2025). Distinguishing endogenous formaldehyde from illegal adulteration in muscle foods: A comprehensive biochemical overview. *Food Control*, 168, 110942.

Lorenzo, J.M. *et al.* (2018) 'Bioactive peptides as natural antioxidants in food products – A review', *Trends in Food Science and Technology*, 79, pp. 136–147. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.003.

Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121.

McMillin, K. W. 2017. Where is modified atmosphere packaging of meat going. *Meat Science*, 132, 10–16.

Munekata, P. E., Rocchetti, G., & Lorenzo, J. M. (2020). Natural antioxidants from agri-food by-products and exotic fruits to improve the oxidative stability of meat and meat products: A review. *Antioxidants*, 9(11), 1151.

Nugroho, T. A., Pratiwi, R., & Handayani, S. (2025). Efektivitas larutan asam alami dalam mereduksi residu formaldehida pada daging unggas pasar tradisional. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 20(1), 45–56.

Ozaki, M. M., Munekata, P. E., & Lorenzo, J. M. (2021). Green substitutes for synthetic preservatives in meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 823–837.

Pintado, T., Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Structural and textural properties of meat emulsions as affected by healthy fat replacers and natural hydrocolloids. *Foods*, 10(4), 812.

Puligundla, P., Jung, J., & Ko, S. (2012). Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications. *Food Control*, 25(1), 324–333.

Ramanathan, R., Hunt, M. C., & Mancini, R. A. (2020). Recent updates in meat color research: Pure and applied science perspectives. *Meat and Muscle Biology*, 4(2), 1–13.

Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., & Sanches-Silva, A. (2021). Essential oils in active food packaging: Applications, mechanisms, and regulations. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 638–653.

Ramírez, J.A. *et al.* (2007) 'Low-salt restructured products from striped mullet (Mugil cephalus) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives', *Food Chemistry*, 102(1), pp. 243–249. Available at: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.045.

Riskayanti, R., Hikmah, H., *et al.* (2023) 'Diversification of Healthy Chicken Nuggets Which Rich in Antioxidants and Dietary Fiber Through the Utilization of Vegetable Broccoli (Brassica oleracea L.) and Carrot (Daucus carota L.)', *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(2), pp. 289–296. Available at: https://doi.org/10.17582/JOURNAL.AAVS/2024/12.2.289.296.

Riskayanti, R., Ali, H.M., *et al.* (2023) 'Organoleptic Quality of Chicken Nugget with Broccoli (Brassica oleracea L .) and Carrot (Daucus carota L .) Addition', *Hasanuddin Journal of Animal Science*, 5(2), pp. 105–116. Available at: https://doi.org/10.20956/hajas.v5i2.27820.

Robertson, G. L. (2016). *Food Packaging: Principles and Practice* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Trends in Food Science & Technology*, 21(5), 231–243.

Sari, M. P., Rahayu, S., & Utama, S. (2023). Kinetic degradation of formaldehyde residues in chicken meat during domestic washing and thermal processing. *International Journal of Food Science*, 2023, 8843102.

Sebranek, J. G., Jackson-Davis, A. L., & Sullivan, G. A. (2021). Review of clean-label meat products: Technological challenges and safety. *Meat and Muscle Biology*, 5(1), 1–18.

Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Lipid oxidation and improving the oxidative stability of meat and meat products. *Antioxidants in Muscle Foods*, 45–73.

Turkez, H., Geyikoğlu, F., & Tatar, A. (2021). Molecular mechanisms of borax-induced genotoxicity and apoptosis in human peripheral blood lymphocytes. *Toxicology in Vitro*, 72, 105084.

Van Rooyen, L. A., Allen, P., & O'Connor, D. I. (2017). The application of carbon monoxide in modified atmosphere packaging of fresh meat: A review. *Meat Science*, 134, 120–130.

Villalobos-Delgado, L.H. *et al.* (2018) 'Natural antioxidants in fresh and processed meat', *Sustainable Meat Production and Processing*, pp. 207–236. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00011-0.

Wang, Z., Li, C., & Tan, Y. (2023). Investigation of endogenous formaldehyde formation pathways in livestock and poultry products during post-mortem storage. *Meat Science*, 198, 109088.

Wijaya, A. H., Sanjaya, M., & Putra, R. (2025). Perkembangan metode deteksi cepat boraks pada pangan olahan asal ternak menggunakan biosensor berbasis bahan alam. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 36(1), 88–99.

Xing, Y., Zhang, L., & Wang, J. (2024). Chronic toxicity of borax on liver and kidney function: A comprehensive review of molecular pathways. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 102, 104215.

Yam, K. L., & Lee, D. S. (Eds.). (2012). *Emerging Food Packaging Technologies: Principles and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing.

You, J., Kim, H., & Shin, J. (2022). Recent advances in colorimetric indicators for monitoring gas composition in modified atmosphere packaging of muscle foods. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 89–102.

Zhang, Q., Wang, L., & Liu, H. (2026). Smartphone-integrated colorimetric paper sensor based on hydrogel for real-time and on-site detection of formaldehyde in meat products. *Food Chemistry*, 412, 136125.

BAB 10
INOVASI PRODUK FERMENTASI HASIL TERNAK

10.1 Fermentasi Hasil Ternak dan Inovasi Produk Pangan

Kalau kita berbicara soal teknologi pangan yang mampu sekaligus mengawetkan, membentuk cita rasa, dan meningkatkan nilai jual bahan pangan hewani, fermentasi adalah jawabannya. Pada produk susu, teknik ini melahirkan aneka produk yang sudah tidak asing di keseharian kita, yogurt, kefir, keju, dadih, susu asam, hingga minuman probiotik. Pada produk daging, fermentasi menghadirkan sosis fermentasi, salami, dan dry-cured meat dengan karakter rasa yang khas sekaligus daya simpan yang lebih panjang. Yang menarik, dalam perkembangan mutakhir fermentasi tidak lagi sekadar dipandang sebagai warisan teknik tradisional. Ia telah bertransformasi menjadi platform inovasi modern yang melibatkan seleksi kultur starter secara saintifik, pengendalian proses yang terukur, pengembangan klaim fungsional, hingga strategi diferensiasi di pasar yang semakin kompetitif (Gänzle *et al.*, 2024).

Minat masyarakat terhadap pangan fermentasi terus tumbuh, dan ini bukan sekadar tren sesaat. Konsumen masa kini semakin sadar akan hubungan antara makanan dan kesehatan, serta menuntut produk yang nyaman dikonsumsi dan diproduksi secara berkelanjutan. Hasil ternak memang kaya protein, lemak, mineral, dan vitamin, namun sifatnya yang mudah rusak menjadi tantangan tersendiri. Fermentasi hadir sebagai solusi: penurunan pH, pembentukan asam organik, kompetisi antar mikroba yang menekan pembusukan, serta perubahan struktur protein dan lemak yang memengaruhi tekstur dan cita rasa produk. Lebih jauh lagi, pada produk susu fermentasi, aktivitas mikroba dapat menghasilkan peptida bioaktif, eksopolisakarida, dan berbagai metabolit lain yang berkaitan dengan kesehatan saluran cerna dan peningkatan toleransi laktosa (Saleem *et al*., 2024; Sharma *et al*., 2023).

Di sisi lain, inovasi fermentasi hasil ternak kini bergerak ke arah yang jauh lebih terukur dan berbasis bukti. Industri tidak lagi sekadar menambahkan starter ke dalam produk, melainkan memilih strain secara selektif berdasarkan keamanan penggunaan, kestabilan selama penyimpanan, kemampuan membentuk aroma khas, ketahanan terhadap tekanan proses, dan potensi probiotiknya. Artinya, inovasi produk fermentasi tidak bisa dilepaskan dari pemahaman yang mendalam tentang mikroorganisme, karakter bahan baku, parameter proses, kebutuhan konsumen, dan regulasi yang berlaku. Bab ini mengulas konsep dasar fermentasi hasil ternak, ragam produk yang dihasilkan, arah inovasinya, aspek keamanan pangan, peluang pasar, hingga tantangan

komersialisasi dengan bahasa yang mudah dicerna baik oleh pembaca umum maupun mahasiswa.

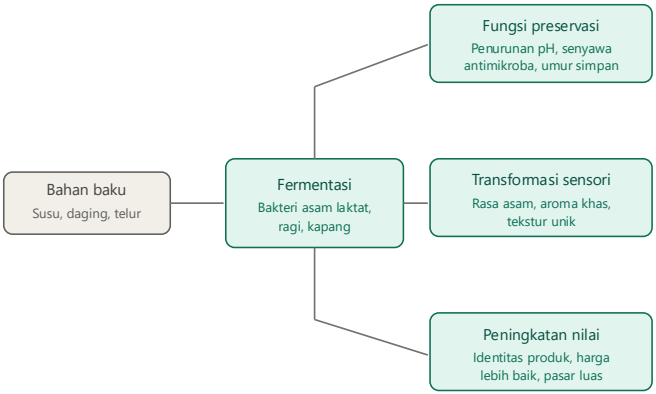
10.2 Konsep Dasar Fermentasi Hasil Ternak

Secara sederhana, fermentasi adalah proses perubahan komponen bahan pangan yang digerakkan oleh aktivitas mikroorganisme atau enzim yang dihasilkannya. Pada produk hasil ternak, substrat yang paling banyak dimanfaatkan mikroba meliputi laktosa pada susu, serta protein, peptida, asam amino, lemak, dan karbohidrat tambahan dalam formulasi produk daging. Kelompok mikroba yang paling umum digunakan adalah bakteri asam laktat, mencakup *Lactobacillus sensu lato*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, dan *Pediococcus*. Pada sejumlah produk tertentu, ragi dan kapang turut berperan dalam pembentukan aroma dan pematangan (Gänzle *et al*., 2024; Zhao *et al*., 2024).

Pada susu, laktosa diubah menjadi asam laktat sehingga pH menurun. Penurunan pH inilah yang mendorong protein kasein menggumpal dan membentuk tekstur khas seperti gel lembut pada yogurt atau padatan kompak pada beberapa jenis susu asam. Proses pada keju berlangsung lebih kompleks: di samping fermentasi, terjadi pula koagulasi, pemisahan whey, proteolisis, lipolisis, dan pematangan yang berlangsung dalam rentang waktu tertentu. Pada daging fermentasi, penurunan pH dan aktivitas air berfungsi menekan pertumbuhan mikroba pembusuk dan patogen, sementara proteolisis dan lipolisis menghasilkan senyawa volatil yang sangat menentukan aroma produk akhir (Munekata *et al*., 2022; Zhao *et al*., 2024).

Secara umum, fermentasi hasil ternak menjalankan tiga fungsi utama. Pertama, fungsi preservasi, memperpanjang umur simpan melalui pengasaman dan pembentukan senyawa antimikroba. Kedua, fungsi transformasi sensori yaitu membentuk rasa asam, aroma khas, serta tekstur yang lebih lembut atau lebih kompak dari bahan bakunya. Ketiga, fungsi peningkatan nilai yaitu mengubah bahan baku yang rentan rusak menjadi produk dengan identitas, harga, dan pasar yang lebih baik. Dengan demikian, fermentasi dapat dipandang sekaligus sebagai teknologi pengolahan dan strategi peningkatan daya saing produk peternakan.

Keberhasilan fermentasi sangat ditentukan oleh sejumlah faktor: mutu bahan baku, jumlah dan jenis starter, suhu dan durasi fermentasi, pH awal, kadar garam, aktivitas air, sanitasi, hingga jenis kemasan. Kesalahan kecil pada salah satu parameter saja sudah cukup membuat produk akhir menjadi terlalu asam, berbau menyimpang, bertekstur tidak sesuai, atau bahkan tidak aman. Inilah mengapa inovasi yang baik harus selalu disertai sistem pengendalian proses yang konsisten. Produk yang unik namun tidak stabil tidak akan mampu bertahan di pasar dalam jangka panjang.



Gambar 10. 1 Tiga fungsi utama fermentasi hasil ternak

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Gänzle et al., (2024) dan Munekata et al., (2022)

10.3 Ragam Produk Fermentasi Berbasis Susu

Susu adalah bahan baku yang paling luas dimanfaatkan dalam inovasi fermentasi hasil ternak. Kandungan laktosa, protein, mineral, dan lemaknya memberikan kondisi ideal bagi pertumbuhan starter sekaligus pembentukan tekstur yang disukai konsumen. Yogurt adalah contoh paling familiar. Namun inovasinya kini sudah jauh melampaui sekadar varian rasa buah yang berkembang menjadi yogurt tinggi protein, yogurt rendah gula, yogurt sinbiotik, yogurt berbahan susu kambing, hingga yogurt yang diperkaya komponen bioaktif dari bahan-bahan lokal. Semakin pentingnya pengembangan produk berbasis kultur probiotik juga mendorong pergeseran persepsi konsumen: yogurt tidak lagi sekadar makanan segar, melainkan pangan fungsional yang dikonsumsi dengan tujuan spesifik ((Jang, Lee and Paik, 2024);(Ağagündüz *et al.*, 2025)).

Kefir pun semakin mendapat perhatian, terutama karena melibatkan komunitas mikroba yang lebih kompleks bakteri asam laktat, bakteri asam asetat, dan ragi sekaligus. Kombinasi ini menghasilkan rasa asam segar, sedikit sensasi karbonasi, dan aroma yang khas. Dari sisi inovasi, kefir dapat dikembangkan menjadi minuman siap minum, kefir rendah laktosa, kefir dalam bentuk bubuk, hingga whey kefir yang dimanfaatkan untuk tujuan tertentu. Penelitian lokal bahkan menunjukkan potensi yang menarik: whey kefir susu kambing terbukti dapat menghambat adhesi Candida albicans pada resin akrilik secara in vitro sebuah temuan yang memperlihatkan bahwa produk samping kefir pun dapat bernilai tambah apabila dikembangkan dengan tepat (Faridiaz and Azhari, 2025).

Keju menawarkan ruang inovasi yang tidak kalah luas. Mulai dari pemilihan kultur adjungtif, penggunaan susu kambing atau kerbau, pengurangan kadar garam, hingga pengembangan keju segar yang lebih sesuai selera pasar modern. Sementara itu, produk tradisional Indonesia seperti dadih menyimpan potensi yang belum banyak dieksplorasi. Dadih susu kerbau fermentasi yang dibuat dalam tabung bambu tidak hanya kaya nilai budaya, tetapi juga menyimpan kekayaan mikroba lokal yang menarik secara ilmiah. Penelitian terbaru mengonfirmasi bahwa dadih dapat menjadi sumber ragi probiotik potensial dari genus Pichia, menjadikannya relevan tidak hanya sebagai warisan kuliner, tetapi juga sebagai kandidat produk fungsional masa depan (Chihombori *et al.*, 2025).

Beberapa contoh inovasi lokal yang menarik perhatian dalam beberapa tahun terakhir antara lain pemanfaatan

bahan fungsional untuk memperkaya produk susu fermentasi. Auliarasulina *et al*., (2025) menunjukkan bahwa mutu susu fermentasi dengan Lactiplantibacillus plantarum SN13T masih dapat dipertahankan selama penyimpanan dingin pada periode tertentu, temuan yang penting bagi pengendalian umur simpan. Di sisi lain, Syahnara *et al*., (2025) membuktikan bahwa ekstrak cincau hijau dapat digunakan untuk mendiversifikasi produk susu fermentasi sekaligus memperkuat nilai fungsionalnya. Inovasi serupa juga ditunjukkan oleh Prasetya *et al*., (2022) yang mengkaji penambahan ekstrak beras hitam 5% pada yoghurt susu kambing dengan berbagai jenis hidrokoloid susu skim, kolagen, dan gelatin. Penelitian tersebut mengungkap bahwa kombinasi bahan fungsional lokal dan agen penstabil berpengaruh nyata terhadap total asam tertitrasi, pH, dan profil tekstur yoghurt, memperkuat gagasan bahwa bahan-bahan lokal yang kaya senyawa bioaktif seperti beras hitam layak dipertimbangkan sebagai komponen inovatif dalam pengembangan produk susu fermentasi. Contoh-contoh ini mengingatkan kita bahwa inovasi tidak selalu identik dengan biaya tinggi; kombinasi kultur yang tepat dengan bahan lokal sudah cukup untuk menghasilkan produk yang khas, menarik, dan lebih dekat dengan kebutuhan pasar Indonesia.

Tabel 10. 1 Contoh Arah Inovasi Pada Produk Susu Fermentasi

Produk	Contoh Inovasi	Nilai Tambah	Catatan
Yogurt	Tinggi protein, rendah gula, sinbiotik, fortifikasi buah lokal	Relevan untuk pasar kesehatan dan segmen praktis	Perlu kontrol pH, viskositas, dan viabilitas kultur
Kefir	Siap minum, rendah laktosa, whey kefir, bubuk kefir	Cita rasa unik dan citra fungsional kuat	Perlu pengendalian gas dan konsistensi mikrobiota
Keju	Rendah garam, keju oles, kultur adjungtif, susu kambing	Nilai ekonomi tinggi dan pasar premium	Membutuhkan pematangan dan standardisasi yang baik
Dadih	Starter lokal, kemasan higienis, diversifikasi rasa	Mengangkat identitas lokal dan wisata pangan	Perlu kajian keamanan, mutu, dan stabilitas produk

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Jang et al. (2024), Auliarasulina et al. (2025), Syahnara et al. (2025), Prasetya et al. (2022), dan Chihombori et al. (2025).

10.4 Ragam Produk Fermentasi Berbasis Daging

Fermentasi daging memiliki sejarah panjang sebagai cara menjaga ketersediaan protein hewani sebelum teknologi

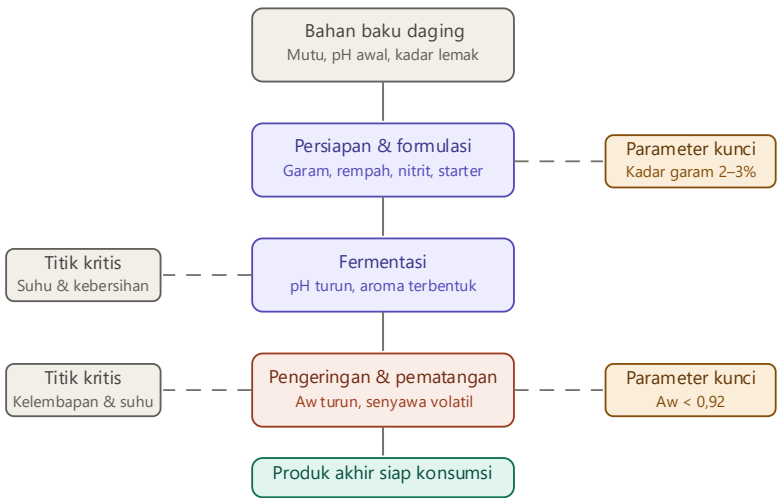
pendinginan berkembang seperti sekarang. Produk seperti salami, sosis fermentasi, dan dry-cured sausage mengandalkan kombinasi garam, starter, pengeringan, dan pematangan. Dalam proses ini, bakteri asam laktat bertugas menurunkan pH, sementara mikroorganisme lain berkontribusi pada pembentukan warna, aroma, dan stabilitas oksidatif produk. Di skala industri, penggunaan starter yang terstandar membuat hasil fermentasi lebih seragam dan mengurangi risiko kegagalan proses ((Munekata *et al.*, 2022); (Mani-López *et al.*, 2024)).

Inovasi pada produk daging fermentasi harus mempertimbangkan pergeseran preferensi konsumen yang nyata. Produk daging olahan kerap dipersepsikan tinggi garam, tinggi lemak, atau mengandung nitrit berlebih. Karena itu, arah inovasi yang paling relevan saat ini bukan sekadar menambah varian rasa, melainkan menghadirkan produk yang tetap lezat namun lebih sehat. Strateginya dapat berupa pengurangan garam secara bertahap, pemanfaatan rempah berantioksidan, penambahan serat pangan, penggunaan kultur penghasil aroma, dan pengendalian oksidasi lemak. Dengan pendekatan ini, karakter khas daging fermentasi tetap terjaga, sementara profil gizinya menjadi lebih baik.

Daging fermentasi juga mulai dikaji sebagai pembawa probiotik, sebuah konsep yang menarik meski tidak mudah diwujudkan. Lingkungan daging yang cenderung asin, berlemak, dan sering mengalami pengeringan dapat menekan kelangsungan hidup sel probiotik. Namun, beberapa telaah menunjukkan bahwa peluang ini tetap terbuka jika strain yang digunakan sesuai dan prosesnya dirancang dengan cermat, misalnya melalui adaptasi kultur atau perlindungan

dengan teknik mikroenkapsulasi ((Munekata *et al.*, 2022); (Mani-López *et al*., 2024)).

Dari perspektif pengembangan produk, fermentasi daging tidak harus selalu mengarah pada produk mewah berselera impor. Konsepnya dapat diterapkan pada produk lokal berbasis rempah, camilan berprotein tinggi, topping makanan cepat saji, atau produk siap santap dalam porsi kecil yang praktis. Prinsipnya tetap sama: keamanan, cita rasa, ukuran porsi, dan narasi produk harus berjalan seiring. Produk yang lezat tetapi diragukan keamanannya tidak akan dipercaya konsumen; sebaliknya, produk yang aman tetapi tidak punya karakter rasa juga tidak akan bertahan lama di pasar.



Sumber: Munekata et al. (2022); Zhao et al. (2024)

Gambar 10. 2 Alur Fermentasi Daging

10.5 Arah Inovasi Produk Fermentasi Hasil Ternak

Dalam konteks hasil ternak, inovasi dapat dikelompokkan ke dalam enam dimensi utama: inovasi formulasi, kultur, proses, kemasan, klaim fungsional, dan pemasaran. Keenam dimensi ini saling berkaitan dan tidak bisa berdiri sendiri. Produk dengan kultur unggulan tetap memerlukan formulasi yang disukai konsumen, proses yang stabil, kemasan yang tepat, dan strategi komunikasi yang jujur. Dengan kata lain, inovasi bukan sekadar soal menemukan mikroba baru, ia mencakup memastikan seluruh sistem produk berjalan baik, dari laboratorium hingga ke tangan konsumen (Gänzle *et al.*, 2024).

Inovasi formulasi berfokus pada perubahan komposisi produk. Contohnya adalah yogurt tinggi protein, kefir rendah gula, sosis fermentasi berserat, atau susu fermentasi yang diperkaya buah lokal. Setiap perubahan bahan baku harus dirancang dengan cermat karena dapat memengaruhi rasa, kekentalan, warna, kestabilan, hingga umur simpan. Bahan yang dianggap menyehatkan belum tentu langsung cocok dalam matriks pangan tertentu. Oleh karena itu, inovasi formulasi selalu perlu dibarengi dengan uji sensori dan uji kestabilan yang sistematis.

Inovasi kultur adalah dimensi yang paling strategis karena kultur menentukan kecepatan fermentasi, pembentukan aroma, tekstur produk akhir, dan kemungkinan klaim fungsional yang dapat diajukan. Miftakhussolikhah *et al*., (2026) menunjukkan bahwa seleksi bakteri asam laktat proteolitik dapat membuka jalan bagi pengembangan susu fermentasi dengan potensi penghambatan enzim α-

glukosidase relevan untuk konteks pengelolaan gula darah. Temuan seperti ini menegaskan bahwa pemilihan kultur bukan hanya soal mutu sensori, tetapi juga soal fungsi fisiologis yang dapat ditawarkan produk kepada konsumen.

Inovasi proses mencakup pengendalian suhu, waktu, kadar oksigen, pematangan, pengeringan, dan penerapan teknologi pendukung seperti pengeringan beku starter, pemrosesan tekanan tinggi, atau pemantauan digital secara real time. Pada produk susu, fokusnya adalah menjaga viabilitas kultur dan kestabilan protein. Pada produk daging, fokusnya adalah mengendalikan pH, aktivitas air, oksidasi, dan keamanan mikrobiologis. Proses yang baik menghasilkan produk yang konsisten dan lebih mudah diskalakan dari skala laboratorium ke skala komersial.

Inovasi kemasan juga tidak boleh dipandang sebelah mata. Produk fermentasi umumnya sensitif terhadap oksigen, cahaya, fluktuasi suhu, dan tekanan gas. Kefir, misalnya, memerlukan perhatian khusus karena berpotensi membentuk gas selama penyimpanan. Yogurt probiotik membutuhkan rantai dingin yang terjaga ketat. Sementara produk daging fermentasi memerlukan kemasan yang mampu melindungi dari oksidasi sekaligus mempertahankan kualitas sensori. Kemasan harus dipahami sebagai bagian integral dari sistem mutu bukan sekadar pembungkus estetis.

Tabel 10. 2 Arah inovasi produk fermentasi hasil ternak

Aspek Inovasi	Contoh Penerapan	Nilai Tambah	Catatan Pengembangan
Formulasi	Yogurt tinggi protein, kefir rendah gula, sosis berserat	Menjawab tren kesehatan dan gizi	Perlu uji rasa, tekstur, dan umur simpan
Kultur starter	Strain probiotik, penghasil EPS, penghasil aroma	Membedakan produk dari pesaing	Wajib diuji keamanan dan kestabilan
Proses	Fermentasi terkontrol, pematangan terukur, freeze-drying	Mutu lebih konsisten	Memerlukan SOP dan pemantauan pH/suhu
Kemasan	Cup siap minum, pouch dingin, kemasan aktif	Meningkatkan kenyamanan dan umur simpan	Harus sesuai dengan sifat produk
Klaim produk	Probiotik, sinbiotik, rendah gula, tinggi protein	Meningkatkan daya tarik pasar	Klaim harus berbasis bukti
Pemasaran	Storytelling lokal, paket langganan, segmen premium	Menaikkan nilai ekonomi	Narasi tidak boleh menggantikan bukti mutu

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Gänzle et al. (2024), Saleem et al. (2024), Munekata et al. (2022), dan Miftakhussolikhah et al. (2026).

10.6 Probiotik, Prebiotik, Sinbiotik, dan Postbiotik

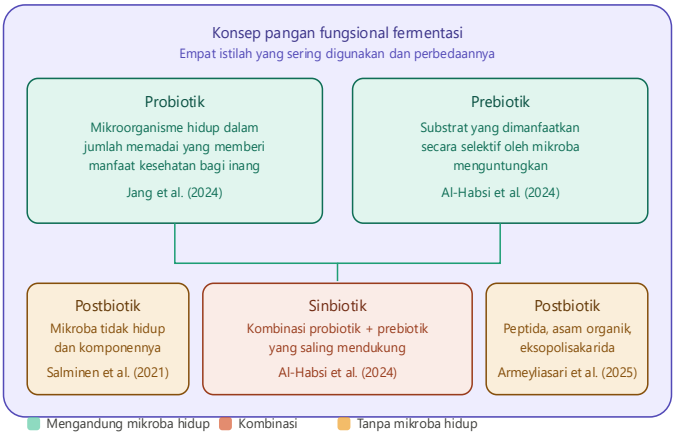
Salah satu arah inovasi yang paling menonjol dalam fermentasi hasil ternak adalah pengembangan pangan fungsional. Di sinilah pemahaman yang tepat tentang empat istilah kunci, probiotik, prebiotik, sinbiotik, dan postbiotik menjadi sangat penting, agar tidak melahirkan klaim yang menyesatkan konsumen.

Probiotik adalah mikroorganisme hidup yang, bila diberikan dalam jumlah yang memadai, memberikan manfaat kesehatan pada inang. Ini berarti tidak semua bakteri asam laktat otomatis layak disebut probiotik. Suatu strain perlu memiliki identitas yang jelas, profil keamanan yang terverifikasi, stabilitas yang memadai selama penyimpanan, dan dukungan bukti manfaat yang cukup ((Jang, Lee and Paik, 2024); (Al-Habsi *et al.*, 2024)).

Prebiotik adalah substrat yang dimanfaatkan secara selektif oleh mikroorganisme menguntungkan. Dalam produk susu fermentasi, bahan seperti inulin, fruktooligosakarida, galaktooligosakarida, atau serat dari buah-buahan lokal dapat digunakan untuk mendukung pertumbuhan mikroba tertentu. Ketika probiotik dan prebiotik digabungkan dalam satu produk secara saling mendukung, kombinasi tersebut disebut sinbiotik. Pendekatan ini menarik karena tidak hanya menghadirkan mikroba menguntungkan, tetapi juga menyediakan nutrisi untuk kelangsungan hidupnya. Meski demikian, tidak setiap kombinasi otomatis efektif kecocokan antara strain dan substrat tetap harus diuji secara empiris (Al-Habsi *et al.*, 2024).

Postbiotik adalah preparasi mikroorganisme tidak hidup dan/atau komponennya yang memberikan manfaat kesehatan. Definisi ini telah dipertegas dalam pernyataan konsensus ISAPP, sehingga istilah ini sebaiknya tidak digunakan secara sembarangan (Salminen *et al.*, 2021). Konsep ini relevan untuk produk yang tidak memungkinkan kultur hidup bertahan lama selama penyimpanan, atau bagi konsumen yang lebih cocok dengan produk tanpa mikroba aktif. Dalam konteks hasil ternak, postbiotik dapat berupa komponen dinding sel, asam organik, peptida bioaktif, eksopolisakarida, atau metabolit lain yang terbentuk selama proses fermentasi berlangsung.

Penerapan konsep ini mulai terlihat dalam penelitian-penelitian lokal. Armeyliasari *et al*., (2025) melaporkan pemanfaatan puree buah parijoto pada yogurt postbiotik-probiotik, sedangkan Pranata *et al*., (2026) mengevaluasi karakteristik yogurt postbiotik yang diperkaya dengan buah yang sama. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa inovasi produk fermentasi lokal dapat mengintegrasikan pendekatan multibiotic dengan kekayaan bahan nabati Indonesia. Namun, produsen tetap harus berhati-hati dalam pelabelan. Bila produk tidak memenuhi definisi dan kriteria ilmiah yang berlaku, istilah yang digunakan harus disesuaikan agar tidak menyesatkan konsumen.



Gambar 10. 3 Perbedaan probiotik, prebiotik, sinbiotik, dan postbiotik

10.7 Keamanan Pangan dan Standarisasi Mutu

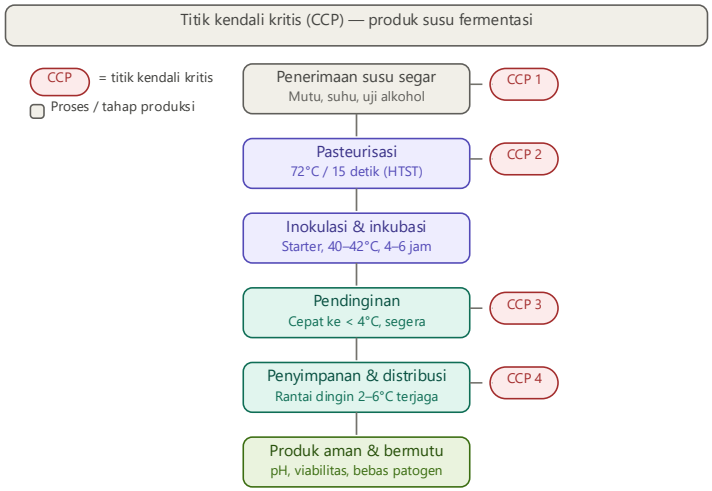
Keamanan pangan adalah fondasi yang tidak bisa ditawar dalam pengembangan produk fermentasi hasil ternak. Fermentasi memang membantu menekan sebagian mikroba pembusuk dan patogen, namun ia bukan jaminan otomatis bahwa produk aman dikonsumsi. Susu dan daging mentah tetap membawa risiko yang serius apabila penanganan awal, sanitasi, pasteurisasi, dan proses fermentasinya tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, setiap inovasi harus dibangun di atas fondasi praktik produksi yang baik (*Good Manufacturing Practice*/GMP), sanitasi yang konsisten, dan analisis titik kendali kritis (HACCP).

Pada susu fermentasi, titik-titik kritis yang perlu diperhatikan antara lain mutu susu segar, suhu penerimaan bahan baku, proses pasteurisasi, inokulasi starter, suhu inkubasi, kebersihan wadah, pendinginan segera setelah fermentasi selesai, dan pengelolaan rantai dingin selama distribusi. Penelitian Auliarasulina *et al*., (2025)menegaskan bahwa lama penyimpanan berpengaruh nyata terhadap mutu susu fermentasi, sebuah pengingat bahwa pengendalian suhu tidak boleh dianggap remeh. Pada daging fermentasi, titik kritis mencakup mutu daging segar, kadar garam, pH akhir, aktivitas air, suhu fermentasi, kelembapan ruang pematangan, dan pencegahan kontaminasi silang.

Standarisasi mutu sebaiknya mencakup empat dimensi parameter: fisik, kimia, mikrobiologi, dan sensori. Parameter fisik dapat meliputi viskositas, kekerasan, warna, dan kestabilan gel. Parameter kimia mencakup pH, kadar air, kadar protein, kadar lemak, kadar garam, dan kadar asam laktat. Parameter mikrobiologi meliputi jumlah bakteri asam laktat, jumlah kultur probiotik (jika diklaim), dan ketiadaan patogen sesuai regulasi yang berlaku. Adapun parameter sensori tidak boleh diabaikan, karena produk yang aman tetapi tidak disukai konsumen tidak akan mampu bertahan di pasar.

Perlu diingat bahwa produk yang berhasil baik di skala laboratorium tidak selalu berjalan mulus ketika diproduksi dalam skala lebih besar. Distribusi panas yang berbeda, kecepatan pendinginan yang berubah, homogenitas kultur yang kurang terjaga, dan risiko kontaminasi yang meningkat seiring volume, semuanya menjadi variabel baru yang perlu diantisipasi. Karena itu, rencana scale-up perlu disusun sejak awal pengembangan produk. Inovasi yang berhasil bukan

hanya yang menarik di atas kertas, tetapi yang dapat direplikasi secara konsisten dalam kondisi produksi nyata.



Gambar 10. 4 Diagram titik kendali kritis keamanan pangan

10.8 Teknologi Pendukung Inovasi

Kemajuan teknologi pangan membuka peluang besar untuk memperkuat dan mempercepat inovasi fermentasi hasil ternak. Teknologi identifikasi mikroba berbasis molekuler, misalnya, memungkinkan peneliti mengkarakterisasi mikrobiota produk dengan tingkat akurasi yang jauh melampaui metode konvensional. Ini sangat penting untuk menyeleksi kultur lokal yang aman, stabil, dan memiliki karakter sensori khas. Pada produk tradisional seperti dadih, pendekatan molekuler justru dapat memperkuat identitas lokal dengan dasar ilmiah yang lebih kokoh (Chihombori *et al.*, 2025).

Teknologi mikroenkapsulasi memainkan peran yang semakin penting, terutama untuk melindungi sel probiotik dari tekanan proses dan kondisi penyimpanan. Pada susu fermentasi, teknik ini membantu mempertahankan viabilitas kultur hingga akhir umur simpan. Pada daging fermentasi, relevansinya bahkan lebih besar karena lingkungan produk yang asin dan mengalami pengeringan sangat berat bagi kelangsungan hidup sel. Di sisi lain, teknologi pengeringan beku (*freeze-drying*) memungkinkan starter diproduksi dalam format bubuk yang mudah didistribusikan, membuka peluang standardisasi bagi usaha pengolahan skala kecil dan menengah.

Pemantauan digital adalah teknologi pendukung lain yang relevansinya terus meningkat. Sensor suhu, pH, kelembapan, dan aktivitas air yang terintegrasi memungkinkan pemantauan fermentasi secara real time. Di industri besar, data ini mendukung penelusuran batch, audit mutu, dan prediksi umur simpan secara lebih akurat. Di UMKM, aplikasi pencatatan digital sederhana pun sudah sangat membantu menjaga konsistensi. Intinya, digitalisasi tidak harus rumit dan mahal, yang paling penting adalah proses pencatatan menjadi lebih tertib, tertelusuri, dan mudah dievaluasi.

Ke depan, precision fermentation juga akan memengaruhi lanskap industri hasil ternak. Meski pendekatan ini tidak selalu menggunakan bahan baku ternak secara langsung, ia membuka kemungkinan memproduksi komponen tertentu secara lebih terarah dan efisien. Bagi dunia peternakan dan teknologi hasil ternak, perkembangan ini perlu dipahami bukan semata sebagai ancaman, melainkan sebagai perubahan ekosistem pangan yang menuntut respons

inovatif: menghadirkan produk yang relevan, aman, dan memiliki identitas kuat.

10.9 Peluang Pengembangan Produk Lokal

Indonesia sesungguhnya memiliki modal yang sangat kaya untuk mengembangkan produk fermentasi hasil ternak yang berdaya saing. Susu sapi, susu kambing, susu kerbau, dan berbagai jenis daging lokal dapat diolah menjadi produk fermentasi yang beragam dan bernilai tinggi. Di banyak wilayah, fermentasi bahkan dapat menjadi solusi praktis untuk memperpanjang daya guna susu di tengah keterbatasan infrastruktur rantai dingin. Bagi peternak, ini berarti peluang nyata untuk meningkatkan nilai jual bahan baku sekaligus mengurangi risiko kerugian akibat susu segar yang cepat rusak.

Produk lokal seperti dadih memiliki keunggulan berlapis: nilai budaya yang otentik, cerita daerah yang kuat, dan kekhasan mikroba yang tidak ditemukan di tempat lain. Pendekatan ilmiah tidak harus mengikis keaslian tersebut. Justru sebaliknya standardisasi proses, pengemasan yang higienis, seleksi starter lokal berbasis bukti, dan dokumentasi mutu yang baik dapat memperkuat posisi produk tradisional di pasar yang lebih luas. Temuan tentang keberadaan ragi probiotik potensial genus Pichia pada dadih menjadi contoh konkret bahwa pangan tradisional Indonesia masih menyimpan banyak potensi yang belum tergali (Chihombori *et al.*, 2025).

Bahan lokal juga berpeluang besar untuk memperkaya formulasi. Yogurt dapat dikombinasikan dengan mangga, sirsak, markisa, kopi, kakao, atau aneka rempah nusantara.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa buah parijoto (*Medinilla speciosa*) dapat dimanfaatkan untuk memperkuat karakteristik fungsional yogurt, baik dalam bentuk puree maupun nanopartikel ekstrak, dengan hasil yang menjanjikan secara fisikokimia, mikrobiologi, dan sensori ((Kusuma *et al.*, 2026); (Simanjuntak *et al.*, 2026)). Pendekatan ini menarik karena memadukan teknologi fermentasi susu dengan kekayaan tanaman lokal yang kaya senyawa bioaktif.

Meski demikian, optimisme harus tetap berpijak pada realitas. Tidak semua bahan lokal otomatis kompatibel dengan proses fermentasi. Ada bahan yang menghasilkan warna menarik tetapi justru menurunkan viabilitas starter; ada pula yang meningkatkan kapasitas antioksidan tetapi menurunkan penerimaan rasa oleh konsumen. Oleh karena itu, setiap inovasi perlu diuji secara menyeluruh, dari aspek sensori, keamanan, umur simpan, biaya, hingga kesiapan pasar. Keseimbangan antara identitas lokal, bukti ilmiah, dan selera konsumen adalah kunci yang tidak bisa dikompromikan.

10.10 Strategi Komersialisasi dan Model Bisnis

Komersialisasi produk fermentasi hasil ternak harus dimulai dari satu pertanyaan mendasar: siapa konsumennya? Konsumen yang berorientasi pada kesehatan cenderung tertarik pada yogurt probiotik, kefir rendah gula, atau susu fermentasi tinggi protein. Konsumen premium mungkin lebih tertarik pada keju artisan atau daging fermentasi dengan profil cita rasa yang kompleks. Sementara konsumen yang memprioritaskan kepraktisan membutuhkan produk dalam kemasan kecil, mudah dibawa, dan harga yang terjangkau.

Satu jenis produk yang sama bisa jadi memerlukan pesan pemasaran yang berbeda untuk segmen yang berbeda.

Model bisnis produk fermentasi juga beragam. Ada model ritel harian seperti yogurt cup dan kefir botol yang mengandalkan volume penjualan tinggi. Ada model premium seperti keju lokal atau paket tasting yang menyasar konsumen berdaya beli tinggi. Ada pula model berlangganan, misalnya pengiriman yogurt mingguan yang membangun loyalitas konsumen. Untuk UMKM, peluang lain yang sering terlewat adalah menjual bahan antara, seperti starter lokal, kultur kering, atau konsentrat bahan fungsional, kepada usaha pengolahan skala kecil lainnya. Kunci utamanya adalah memilih model yang selaras dengan kapasitas produksi, daya tahan produk, dan jaringan distribusi yang dimiliki.

Dalam menyusun struktur harga, produsen wajib menghitung seluruh komponen biaya secara realistis: bahan baku, starter, proses produksi, kemasan, sistem pendinginan, tenaga kerja, perizinan, biaya pengujian, dan risiko retur produk. Banyak produk inovatif yang gagal bukan karena konsepnya buruk, melainkan karena struktur biayanya tidak diperhitungkan dengan matang sejak awal. Yogurt probiotik, misalnya, membutuhkan penyimpanan dingin yang konsisten dan pengujian viabilitas kultur secara berkala. Daging fermentasi memerlukan ruang pematangan terkontrol dalam waktu yang tidak singkat. Semua unsur ini harus masuk dalam kalkulasi sejak hari pertama pengembangan produk.

Dari sisi komunikasi pemasaran, narasi yang sederhana dan jujur terbukti lebih efektif daripada istilah teknis yang membingungkan. Pesan seperti 'dibuat dari susu lokal', 'lebih tinggi protein', 'fermentasi terkontrol', atau 'menggunakan buah asli nusantara' jauh lebih mudah

diterima konsumen daripada jargon ilmiah yang sulit dipahami. Namun, klaim kesehatan tetap harus didasarkan pada bukti yang memadai. Produk boleh menjelaskan manfaat umum dari proses fermentasi, tetapi tidak boleh menjanjikan penyembuhan penyakit tanpa dasar ilmiah dan izin edar yang sesuai regulasi.

DAFTAR PUSTAKA

Ağagündüz, D. *et al.* (2025) "Certain fermented dairy foods as a source of multibiotics and multimetabolites: a comprehensive review," *Frontiers in Nutrition*. Frontiers Media SA. Available at: https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1678150.

Al-Habsi, N. *et al.* (2024) "Health Benefits of Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, and Postbiotics," *Nutrients* . Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available at: https://doi.org/10.3390/nu16223955.

Armeyliasari, F.B. *et al.* (2025) "The Addition Effect of Parijoto (Medinilla speciosa) Puree for Postbiotic-Probiotic Yogurt and Extract for Nanoparticle Yogurt on the Physicochemical, Microbiological, Antibacterial, and Organoleptic Properties," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 20(3), pp. 233–252. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2025.020.03.6.

Auliarasulina, S., Melia, S. and Juliyarsi, I. (2025) "Effect of Storage Time of Fermented Milk Using Lactiplantibacillus plantarum SN13T on Fermented Milk Quality," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 20(1), pp. 1–18. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2025.020.01.1.

Chihombori, T.C. *et al.* (2025) "Potential Probiotic Yeasts of the Pichia Genus Isolated from 'Dadih', a Traditional Fermented Food of West Sumatra, Indonesia," *HAYATI Journal of Biosciences*, 32(2), pp. 320–340. Available at: https://doi.org/10.4308/hjb.32.2.320-340.

Faridiaz, D. and Azhari, F. (2025) "Effect of Whey Kefir's Goat Milk to Adhesion of Candida albicans to Resin Acrylic In Vitro," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 20(3), pp. 253–262. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2025.020.03.7.

Gänzle, M.G. *et al.* (2024) "32:59 Annual Review of Food Science and Technology Downloaded from www," *Annual Review of Food Science and Technology*, 15, pp. 211–239. Available at: https://doi.org/10.1146/annurev-food-072023-034207.

Jang, H.J., Lee, N.K. and Paik, H.D. (2024) "Overview of Dairy-based Products with Probiotics: Fermented or Non-fermented Milk Drink," *Food Science of Animal Resources*. Korean Society for Food Science of Animal Resources, pp. 255–268. Available at: https://doi.org///doi.org/10.5851/KOSFA.2023.E83.

Kusuma, V.C. *et al.* (2026) "Kusuma, V. C., Maula, A. D., Sumbaga, N. P., Dewi, C. S., Radiati, L. E., & Armaini. (2026)," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 21. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2026.021.01.7.

Mani-López, E. *et al.* (2024) "Viability and functional impact of probiotic and starter cultures in salami-type fermented meat products," *Frontiers in Chemistry*, 12. Available at: https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1507370.

Miftakhussolikhah, M. *et al.* (2026) "Selection of Proteolytic Lactic Acid Bacteria and the Potential as α-Glucosidase Inhibitor Activity During Milk Fermentation," *agriTECH*, 46(1), pp. 21–34. Available at: https://doi.org/10.22146/agritech.100617.

Munekata, P.E.S. *et al.* (2022) "Functional fermented meat products with probiotics—A review," *Journal of Applied Microbiology*. John Wiley and Sons Inc, pp. 91–103. Available at: https://doi.org/10.1111/jam.15337.

Pranata, J. *et al.* (2026) "Physicochemical, Microbiological, Antimicrobial, and Sensory Characteristics of Postbiotic Yogurt Enriched with Parijoto Fruit (Medinilla speciosa) Puree," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 21(1), pp. 45–61. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2026.021.01.5.

Prasetya, R. *et al.* (2022) "Total Asam Tertitrasi, pH dan Tekstur Yoghurt yang Ditambah Ekstrak Beras Hitam dengan Pemberian Hidrokoloid yang Berbeda," *Prosiding Seminar Teknologi dan Agribisnis Peternakan (STAP)*, 9, pp. 614–620. Available at: https://jnp.fapet.unsoed.ac.id/index.php/psv/article/view/898.

Saleem, G.N. *et al.* (2024) "Therapeutic potential of popular fermented dairy products and its benefits on human health," *Frontiers in Nutrition*. Frontiers Media SA. Available at: https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1328620.

Salminen, S. *et al.* (2021) "The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics," *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*. Nature Research, pp. 649–667. Available at: https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6.

Sharma, H. *et al.* (2023) "Impact of lactic acid bacteria and their metabolites on the techno-functional properties and health benefits of fermented dairy products," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(21), pp. 4819–4841. Available at: https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2007844.

Simanjuntak, T.L.A. *et al.* (2026) "Effect of Parijoto (Medinilla speciosa) Fruit Nanoparticle Extract on Physicochemical Properties, Microstructure, and Functional Characteristics of Yogurt," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 21(1), pp. 62–84. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2026.021.01.6.

Syahnara, R.A. *et al.* (2025) "Diversification of Lactiplantibacillus plantarum SN13T Fermented Milk Products with the Addition of Green Grass Jelly Extract (Premna oblongifolia Merr.) as a Functional Food," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 20(1), pp. 19–34. Available at: https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2025.020.01.2.

Zhao, S. *et al.* (2024) "The regulation of volatile flavor compounds in fermented meat products mediated by microorganisms: A review," *Food Bioscience*, 62, p. 105180. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105180.

BAB 11
SISTEM JAMINAN MUTU DAN STANDARISASI PRODUK TERNAK

11.1 Sistem Jaminan Mutu dan Standarisasi Produk Ternak

Produk hasil ternak, seperti daging, susu, telur, dan berbagai produk olahannya, merupakan bahan pangan yang memiliki kandungan zat gizi penting bagi manusia. Namun, produk-produk tersebut termasuk ke dalam kelompok pangan yang mudah mengalami kerusakan (*perishable food*) sehingga rentan terhadap perubahan fisik, kimia, dan mikrobiologis selama proses produksi, pengolahan, penyimpanan, maupun distribusi. Penurunan mutu dan terjadinya kontaminasi pada produk ternak tidak hanya menyebabkan kerugian ekonomi, tetapi juga dapat meningkatkan risiko terjadinya penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*) pada konsumen (Bintsis, 2018). Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem jaminan mutu yang mampu memastikan bahwa produk hasil ternak diproduksi, diolah, dan didistribusikan sesuai dengan persyaratan mutu dan keamanan pangan yang berlaku (Miteluț *et al.*, 2021).

Sistem jaminan mutu bertujuan untuk memberikan keyakinan bahwa seluruh tahapan produksi telah dilakukan sesuai dengan persyaratan mutu dan keamanan pangan yang berlaku (Arvanitoyannis, 2009).

Dalam industri hasil ternak, jaminan mutu tidak dapat dipisahkan dari konsep keamanan pangan. Keamanan pangan bertujuan untuk mengendalikan berbagai bahaya biologis, kimia, dan fisik yang berpotensi membahayakan kesehatan konsumen. Seiring dengan meningkatnya tuntutan masyarakat terhadap pangan yang aman dan berkualitas, penerapan sistem manajemen keamanan pangan, seperti *Good Manufacturing Practices* (GMP) dan *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP), menjadi semakin penting dalam mendukung daya saing produk ternak di pasar nasional maupun internasional (Awuchi, 2023). Di Indonesia, pengendalian mutu dan keamanan pangan dilakukan melalui penerapan Standar Nasional Indonesia (SNI) serta regulasi yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), khususnya untuk pangan olahan. Standar tersebut berfungsi sebagai acuan dalam menjamin bahwa produk pangan yang diproduksi dan dipasarkan memenuhi persyaratan keamanan, mutu, dan kelayakan konsumsi (Sumarto *et al*., 2014). Bab ini membahas konsep dasar sistem jaminan mutu dan standarisasi produk ternak, meliputi aspek mutu dan keamanan pangan, penerapan HACCP, serta berbagai standar yang digunakan dalam menjamin kualitas produk hasil ternak. Pemahaman terhadap materi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan dan pengelolaan produk ternak yang aman, bermutu, dan berdaya saing sesuai dengan kebutuhan konsumen.

11.2 Pengertian Mutu Produk Hasil Ternak

Mutu produk hasil ternak, yang mencakup komoditas daging, susu, dan telur, merupakan sebuah konstruk multidimensi yang merepresentasikan titik temu antara seluruh karakteristik intrinsik produk dengan standar regulasi serta kapasitasnya dalam mengonfirmasi ekspektasi dan kepuasan konsumen (Wihansah *et al.*, 2025). Berdasarkan perspektif yuridis di Indonesia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2004, standardisasi mutu pangan asal hewan ini diorientasikan secara komparatif pada tiga parameter fundamental, yakni aspek keamanan pangan (*food safety*), kualitas kandungan gizi (*nutritional value*), dan kepatuhan terhadap regulasi perdagangan (Asril *et al.*, 2022). Implementasi dan penjaminan mutu tersebut wajib diaplikasikan secara holistik dan berkesinambungan di sepanjang rantai pasok, mulai dari fase hulu di peternakan hingga fase hilir di tingkat konsumsi (*from farm to table*) (Warriss, 2010).

Dalam konteks produk ternak, mutu memiliki dimensi yang sangat luas karena produk-produk tersebut tidak hanya dikonsumsi dalam bentuk segar tetapi juga dalam berbagai bentuk olahan yang memerlukan proses pengolahan dan penanganan khusus. Bayril *et al*., (2023) menegaskan bahwa mutu pangan asal hewan sangat dipengaruhi oleh kondisi hewan hidup, praktik budidaya, metode pemotongan atau pengolahan, serta rantai distribusi dan penyimpanan. Dengan demikian, jaminan mutu produk ternak harus diterapkan secara menyeluruh dari hulu ke hilir dalam suatu sistem manajemen mutu yang terintegrasi. Mutu produk ternak secara umum meliputi dua aspek utama, yaitu mutu intrinsik

yang berkaitan dengan komposisi dan sifat fisikokimia produk, serta mutu ekstrinsik yang berkaitan dengan penampilan, kemasan, label, dan citra merek.

11.2.1 Karaktertistik Mutu Produk Ternak

Mutu tidak hanya menyangkut atribut fisik seperti warna, tekstur, dan aroma, tetapi juga menyangkut aspek higienitas dan keamanan pangan yang tidak bisa dipisahkan dari proses produksinya. Karakteristik mutu produk ternak merupakan konsep multidimensi yang mencerminkan kesesuaian suatu produk terhadap standar yang telah ditetapkan serta kemampuan produk tersebut dalam memenuhi harapan konsumen. Secara umum, karakteristik mutu produk ternak dapat dibedakan menjadi atribut intrinsik dan atribut ekstrinsik. Karakteristik intrinsik merupakan sifat-sifat yang melekat pada produk itu sendiri, sedangkan karakteristik ekstrinsik berhubungan dengan aspek-aspek di luar produk yang mempengaruhi persepsi konsumen terhadap mutu (Firnanda *et al*., 2023).

Karakteristik mutu organoleptik (sensoris). Karakteristik sensoris merupakan atribut mutu yang dapat dinilai langsung oleh panca indera manusia dan menjadi faktor utama yang mempengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk ternak. Karakteristik ini meliputi:

a. Warna: atribut visual yang sangat mempengaruhi persepsi kesegaran dan kualitas produk. Pada daging, warna merah cerah menandakan kandungan mioglobin segar (oksimioglobin), sedangkan warna kecokelatan menandakan oksidasi (metmioglobin). Warna daging ditentukan oleh konsentrasi dan status kimia dari

pigmen hem, terutama mioglobin (80–90%) dan hemoglobin (10–20%). Warna daging dipengaruhi oleh kandungan mioglobin, pH, kondisi penyimpanan, serta perlakuan pascapanen (Vaclavik and Christian, 2008).

(Azkarahman and Muchlas, 2020) menyatakan bahwa secara normal, susu memiliki warna putih hingga putih kekuningan. Warna putih pada susu disebabkan oleh pemantulan cahaya oleh globula lemak, partikel koloid kasein, serta kalsium fosfat yang terdispersi dalam fase cair susu. Kasein sebagai protein utama dalam susu memiliki sifat tidak tembus cahaya sehingga berkontribusi besar terhadap tampilan putih khas susu. Di sisi lain, susu dapat tampak berwarna putih kebiruan apabila sebagian besar lemaknya dipisahkan, seperti pada susu skim. Hilangnya globula lemak yang mengandung pigmen karotenoid menyebabkan dominasi hamburan cahaya oleh partikel protein, sehingga susu terlihat lebih kebiruan dibandingkan susu utuh. Oleh karena itu, perubahan warna susu dapat menjadi salah satu indikator untuk menilai komposisi dan mutu susu yang dihasilkan.

b. Aroma: Berhubungan dengan senyawa volatil yang dihasilkan oleh produk. Aroma khas produk segar berbeda dari aroma tengik yang menandakan oksidasi lemak atau aroma busuk akibat aktivitas mikroba pembusuk. Pada susu segar, aroma khas dihasilkan dari senyawa volatil seperti aseton, asetaldehida, metil keton, dan asam lemak rantai pendek (Vaclavik and Christian, 2008).
c. Tekstur: Mencerminkan sifat fisik produk yang dirasakan saat sentuhan dan pengunyahan, termasuk

keempukan daging, kekentalan susu, dan kekenyalan keju.

d. Rasa: Atribut yang dipengaruhi oleh komposisi kimia produk, termasuk kandungan asam amino, asam lemak, gula, dan senyawa cita rasa lainnya.

Karakteristik Fisikokimia. Karakteristik fisik meliputi parameter-parameter yang dapat diukur secara objektif menggunakan peralatan khusus, antara lain nilai pH, kapasitas mengikat air (*water holding capacity*/WHC), susut masak (*cooking loss*), dan keempukan (*tenderness*). Nilai pH daging segar umumnya berkisar antara 5,3–5,8 pada 24 jam pascapemotongan (ultimate pH) . Penyimpangan pH dapat mengakibatkan terjadinya kondisi daging DFD (*Dark, Firm, Dry*) akibat pH terlalu tinggi, atau PSE (*Pale, Soft, Exudative*) akibat pH terlalu rendah. Kadar air sangat mempengaruhi daya simpan dan kerentanan produk terhadap kerusakan mikrobiologis, sehingga pengendaliannya menjadi aspek kritis dalam manajemen mutu. Kapasitas mengikat air yang tinggi menunjukkan kemampuan produk dalam mempertahankan kandungan air selama penyimpanan dan pemasakan, sehingga berkaitan erat dengan rendemen dan kualitas produk akhir (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005).

Karakteristik fisikokimia susu menggambarkan sifat-sifat fisik dan kimia susu sebagai suatu sistem pangan yang kompleks. Secara fisikokimia, susu merupakan sistem suspensi koloid dan emulsi, di mana komponen-komponen penyusunnya, seperti lemak, protein, laktosa, mineral, dan air, terdispersi dalam keadaan yang relatif stabil. Salah satu parameter penting adalah berat jenis (BJ), yang sering digunakan sebagai indikator kemurnian susu. Menurut Badan

Standarisasi Nasional (2011), SNI susu segar memiliki berat jenis minimal 1,027 g/ml pada suhu 27,5°C. Nilai berat jenis dipengaruhi oleh kandungan lemak dan bahan kering tanpa lemak (solids-not-fat atau SNF) dalam susu. Parameter lainnya adalah titik beku, yang secara normal berada pada kisaran −0,520 hingga −0,560°C, lebih rendah dibandingkan titik beku air. Oleh karena itu, titik beku sering dimanfaatkan untuk mendeteksi adanya pemalsuan susu melalui penambahan air. Dari aspek kimia, susu segar bersifat sedikit asam dengan nilai pH berkisar antara 6,3–6,8. Peningkatan tingkat keasaman umumnya mengindikasikan aktivitas mikroorganisme yang memfermentasi laktosa menjadi asam laktat. Selain itu, susu juga memiliki karakteristik stabilitas termal yang penting dalam proses pengolahan. Pemanasan pada suhu tinggi, seperti pada proses Ultra High Temperature (UHT), dapat menyebabkan perubahan fisikokimia berupa denaturasi protein whey serta terjadinya reaksi Maillard antara laktosa dan protein. Perubahan tersebut dapat memengaruhi warna susu menjadi lebih kecokelatan serta mengubah karakteristik aroma dan cita rasanya (Azkarahman and Muchlas, 2020).

Karakteristik fisikokimia telur mengalami perubahan seiring dengan lamanya penyimpanan. Setelah telur dikeluarkan dari tubuh unggas, terjadi proses penguapan air dan pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) melalui pori-pori kerabang. Hilangnya CO_2 menyebabkan penurunan konsentrasi ion bikarbonat dalam putih telur, yang selanjutnya meningkatkan nilai pH putih telur dari kondisi awal yang mendekati netral menjadi lebih basa. Perubahan ini dapat memengaruhi sifat fungsional protein telur serta mempercepat penurunan mutu internal telur. Secara fisik,

kualitas telur umumnya dievaluasi melalui pengukuran indeks internal, seperti nilai Haugh Unit (HU) yang mencerminkan kekentalan putih telur dan indeks kuning telur yang menggambarkan bentuk serta ketinggian kuning telur. Semakin tinggi nilai Haugh Unit, semakin baik kualitas telur yang dimiliki. Selama penyimpanan, membran vitelin yang membungkus kuning telur dapat mengalami kerusakan akibat perubahan fisikokimia, sehingga kuning telur menjadi lebih pipih, melebar, dan teksturnya semakin encer. Oleh karena itu, parameter pH, Haugh Unit, dan indeks kuning telur sering digunakan sebagai indikator penting dalam penentuan mutu dan tingkat kesegaran telur konsumsi (Wihansah *et al.*, 2025).

Karakteristik Mikrobiologis. Karakteristik mikrobiologis merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan tingkat higienitas, keamanan pangan, serta daya simpan produk hasil ternak. Produk pangan asal hewan, seperti daging, susu, dan telur, mengandung zat gizi yang tinggi, terutama protein, lemak, vitamin, dan mineral, sehingga menyediakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme. Oleh karena itu, evaluasi terhadap karakteristik mikrobiologis menjadi aspek penting dalam sistem jaminan mutu produk hasil ternak. Mikroorganisme yang terdapat pada produk hasil ternak dapat dikelompokkan menjadi empat kategori utama, yaitu bakteri indikator, bakteri patogen, mikroba pembusuk, dan mikroba menguntungkan.

a. Bakteri indikator merupakan kelompok mikroorganisme yang digunakan untuk menilai kondisi sanitasi dan higiene selama proses produksi dan pengolahan pangan. Keberadaan bakteri ini dalam

jumlah tertentu menunjukkan adanya kemungkinan kontaminasi yang dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen. Kelompok ini meliputi *Coliform*, *fecal coliform*, *Escherichia coli*, dan anggota famili *Enterobacteriaceae*.

b. Bakteri patogen adalah mikroorganisme yang mampu menyebabkan penyakit melalui mekanisme infeksi maupun keracunan pangan. Beberapa bakteri patogen yang sering ditemukan pada produk hasil ternak antara lain *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium botulinum*, dan *Escherichia coli* O157:H7.
c. Mikroba pembusuk berperan dalam menurunkan mutu produk melalui perubahan tekstur, warna, aroma, dan rasa sehingga produk menjadi tidak layak dikonsumsi. Pada daging atau karkas yang disimpan pada suhu dingin, bakteri dari genus Pseudomonas sering mendominasi populasi mikroba karena kemampuannya tumbuh pada suhu rendah.
d. Mikroba menguntungkan merupakan mikroorganisme yang dimanfaatkan secara sengaja dalam proses fermentasi untuk menghasilkan produk dengan karakteristik sensori dan nilai fungsional tertentu. Contohnya adalah *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* yang digunakan dalam pembuatan yoghurt.

Setiap komoditas hasil ternak memiliki profil risiko mikrobiologis yang berbeda sesuai dengan sumber kontaminasi dan karakteristik produknya.

a. Daging segar dapat mengalami kontaminasi mikroba yang berasal dari permukaan kulit ternak, isi saluran pencernaan, peralatan pemotongan, maupun lingkungan rumah potong hewan. Mikroorganisme patogen yang sering ditemukan pada daging antara lain *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, Clostridium perfringens, serta parasit seperti Toxoplasma gondii.
b. Susu segar memiliki potensi sebagai media pertumbuhan mikroorganisme karena kandungan air dan nutrisinya yang tinggi. Kualitas mikrobiologis susu umumnya dievaluasi melalui pengujian *Total Plate Count* (TPC) sesuai dengan standar yang berlaku. Selain itu, konsumsi susu mentah berisiko menjadi media penularan penyakit zoonosis, seperti bruselosis yang disebabkan oleh *Brucella abortus* dan tuberkulosis akibat infeksi *Mycobacterium bovis*.
c. Telur konsumsi yang berasal dari unggas sehat umumnya memiliki bagian dalam yang steril. Namun, kontaminasi mikroba dapat terjadi melalui penetrasi bakteri melalui pori-pori kerabang, terutama apabila kondisi sanitasi lingkungan kurang baik atau terdapat kerusakan pada kerabang telur. Salah satu patogen yang sering dikaitkan dengan telur adalah *Salmonella* enteritidis.

Karakteristik Fungsional. Karakteristik fungsional merupakan salah satu aspek mutu intrinsik yang menggambarkan kemampuan komponen penyusun produk hasil ternak dalam menjalankan fungsi tertentu, baik selama proses pengolahan maupun setelah dikonsumsi. Dalam

konteks teknologi hasil ternak, karakteristik fungsional berkaitan dengan perilaku komponen pangan, terutama protein, lemak, dan fosfolipid, yang memengaruhi pembentukan tekstur, stabilitas, serta kualitas produk akhir. Selain itu, karakteristik fungsional juga dapat merujuk pada manfaat fisiologis yang diberikan produk pangan di luar pemenuhan kebutuhan gizi dasar. Karakteristik fungsional turut menentukan kesesuaian suatu produk untuk tujuan penggunaan tertentu (fitness for use). Konsumen maupun industri sering memilih bahan pangan berdasarkan kemampuan fungsionalnya dalam menghasilkan produk akhir yang diinginkan. Sebagai contoh, jenis daging dengan karakteristik tekstur tertentu lebih sesuai digunakan sebagai bahan baku sate, sedangkan daging dengan sifat fungsional yang mendukung pembentukan emulsi lebih banyak dimanfaatkan dalam pembuatan bakso atau sosis. Oleh karena itu, pemahaman terhadap sifat fungsional bahan baku menjadi faktor penting dalam menentukan metode pengolahan dan jenis produk yang akan dihasilkan.

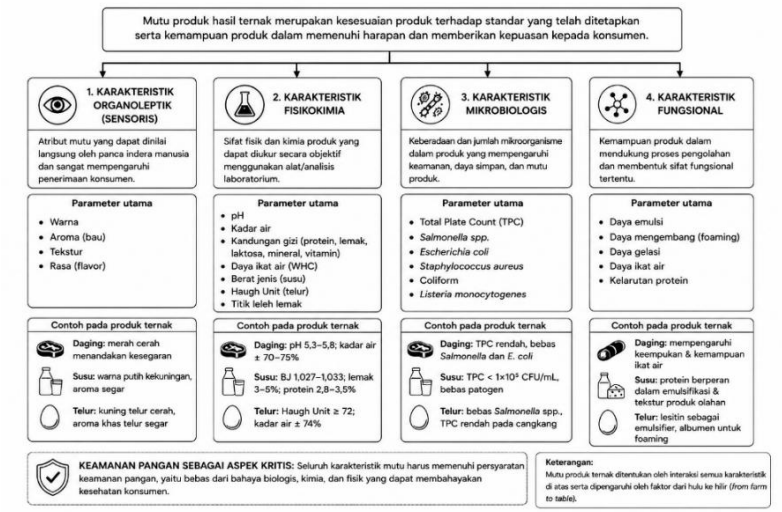
Karakteristik fungsional berperan penting dalam menentukan keberhasilan proses pengolahan produk hasil ternak. Salah satu sifat fungsional yang banyak dimanfaatkan adalah kemampuan protein sebagai pengikat (*binder*), yaitu kemampuan untuk menyatukan berbagai komponen dalam suatu formulasi pangan. Sebagai contoh, telur sering digunakan sebagai bahan pengikat pada produk seperti kroket dan meatloaf. Selain itu, beberapa komponen produk ternak juga memiliki sifat pengemulsi (*emulsifier*), yaitu kemampuan untuk menstabilkan campuran antara air dan lemak yang secara alami sulit bercampur. Lesitin yang terdapat dalam kuning telur merupakan salah satu contoh

emulsifier alami yang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan mayones.

Sifat fungsional lainnya adalah kemampuan membentuk busa (*foaming*), terutama pada putih telur. Ketika dikocok, protein putih telur dapat memerangkap udara dan membentuk struktur busa yang stabil. Struktur tersebut kemudian mengalami pemadatan selama proses pemanasan sehingga berkontribusi terhadap pembentukan tekstur dan volume berbagai produk pangan, seperti kue. Selain itu, protein pada produk hasil ternak juga memiliki kemampuan sebagai pengental dan pembentuk gel (*thickening* dan *gelling agent*), yang berperan dalam menghasilkan tekstur khas pada produk seperti *custard*, yoghurt, dan keju. Kemampuan kelarutan (*solubility*) protein juga menjadi karakteristik fungsional yang penting karena memengaruhi stabilitas dan sifat fisikokimia produk cair, termasuk susu dan minuman berbasis protein.

Industri pangan berupaya mempertahankan karakteristik fungsional produk selama proses pengolahan dan penyimpanan agar mutu produk tetap konsisten hingga akhir masa simpannya. Berbagai perlakuan, seperti pemanasan, pendinginan, pembekuan, fermentasi, maupun penambahan bahan tambahan pangan, dapat memengaruhi sifat fungsional komponen penyusun produk hasil ternak. Perubahan tersebut dapat berdampak pada kemampuan pengikatan air, pembentukan gel, stabilitas emulsi, maupun karakteristik sensori produk. Oleh karena itu, pengendalian proses pengolahan dan kondisi penyimpanan menjadi aspek penting dalam menjaga stabilitas karakteristik fungsional produk. Secara keseluruhan, karakteristik fungsional merupakan bagian dari atribut mutu intrinsik yang melekat

pada produk hasil ternak dan berperan dalam menentukan kinerja produk selama pengolahan, kesesuaian penggunaannya dalam berbagai aplikasi pangan, serta penerimaan konsumen terhadap produk yang dihasilkan. Pemahaman terhadap karakteristik ini menjadi landasan penting dalam pengembangan inovasi teknologi hasil ternak untuk menghasilkan produk yang memiliki mutu, stabilitas, dan nilai tambah yang lebih baik.



Gambar 11. 1 Klasifikasi karakteristik mutu produk hasil ternak
Sumber: (Vaclavik and Christian, 2008; Azkarahman and Muchlas, 2020; Wihansah et al., 2025)

11.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Mutu Produk Hasil Ternak

Mutu produk hasil ternak dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, mulai dari kondisi prapeternakan hingga penanganan pasca panen. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini sangat penting dalam upaya

pengendalian mutu secara menyeluruh. Secara umum, faktor yang memengaruhi mutu produk ternak dapat dibedakan menjadi faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik (Bayril *et al*., 2023) yaitu:

1. **Genetik dan Ras Ternak**. Perbedaan genetik antara ras atau breed ternak secara signifikan memengaruhi komposisi kimia dan karakteristik fisik produk yang dihasilkan. Perbedaan bangsa (breed) sapi, misalnya, menghasilkan variasi nyata pada karakteristik daging, khususnya dalam hal kandungan lemak intramuskular (*marbling*), warna, dan keempukan. Sapi Brahman (Bos indicus) umumnya menghasilkan daging dengan kandungan kolagen yang lebih tinggi dan keempukan yang lebih rendah dibandingkan sapi Simmental atau Angus (Bos taurus). Demikian pula pada sapi perah, breed Holstein menghasilkan volume susu yang jauh lebih tinggi dibandingkan Jersey, meskipun susu Jersey memiliki kandungan lemak dan protein yang lebih tinggi. Seleksi genetik dan program pemuliaan yang terarah terbukti mampu meningkatkan mutu produk secara signifikan.
2. **Pakan dan Nutrisi Ternak**. Komposisi pakan yang diberikan kepada ternak memiliki pengaruh langsung terhadap mutu produk yang dihasilkan. Pakan kaya asam lemak omega-3, seperti biji rami atau rumput segar, akan meningkatkan kadar omega-3 pada daging dan telur. Defisiensi nutrisi tertentu, seperti vitamin E dan selenium, dapat mempercepat oksidasi lemak pada produk hasil ternak sehingga menurunkan mutu dan masa simpan produk. suplementasi mineral dalam ransum dapat meningkatkan kandungan mineral susu serta performa

reproduksi ternak. Tariq *et al*., (2023) melaporkan bahwa suplementasi mineral dalam ransum dapat meningkatkan kandungan mineral susu serta performa reproduksi ternak.

3. **Kondisi Kesehatan dan Kesejahteraan Hewan**. Kondisi hewan sebelum penyembelihan (ante-mortem) sangat menentukan kualitas daging yang dihasilkan. Ternak yang mengalami stres sebelum pemotongan akan menghabiskan cadangan glikogen otot, sehingga produksi asam laktat pascapemotongan menjadi terbatas dan nilai pH daging akhir menjadi lebih tinggi dari normal (> 6,0). Kondisi ini mengakibatkan munculnya DFD (*Dark*, *Firm*, *Dry*) pada daging dan menghasilkan daging dengan warna gelap, bertekstur keras, serta kering, sehingga menurunkan daya terima konsumen dan mengurangi daya simpan produk. Sebaliknya, kondisi stres akut sesaat sebelum penyembelihan dapat menyebabkan defek mutu daging PSE (*Pale*, *Soft*, *Exudative*), terutama pada ternak babi. Penerapan kesejahteraan hewan (*animal welfare*) dalam penanganan pre-slaughter terbukti secara konsisten mampu meningkatkan kualitas daging yang dihasilkan
4. **Metode Pemotongan dan Penanganan Pascapanen**. Proses pemotongan yang higienis, pendinginan cepat karkas, serta penerapan rantai dingin (*cold chain*) yang konsisten merupakan faktor kritis dalam mempertahankan mutu daging. Penundaan pendinginan pascapemotongan dapat mempercepat pertumbuhan mikroba pembusuk dan menurunkan kualitas sensoris daging. Pada susu, kecepatan pendinginan setelah

pemerahan sangat menentukan Total Plate Count (TPC) susu segar (Azkarahman and Muchlas, 2020).

5. **Kondisi Penyimpanan dan Distribusi**. Suhu, kelembapan, dan kondisi atmosfer selama penyimpanan sangat memengaruhi laju kerusakan produk hasil ternak. Penyimpanan pada suhu refrigerasi (0–4°C) secara signifikan menghambat pertumbuhan sebagian besar bakteri patogen dan pembusuk pada daging dan susu. Teknologi pengemasan seperti Modified Atmosphere Packaging (MAP) dan vacuum packaging dapat memperpanjang umur simpan produk dengan mengurangi ketersediaan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerobik (Bintsis, 2018).
6. **Pengolahan**. Teknik dan parameter pengolahan, seperti suhu pemanasan, durasi proses, penambahan bahan tambahan pangan (BTP), dan metode pengemasan, secara langsung memengaruhi karakteristik fisikokimia, sensoris, dan nutrisi produk akhir. Perlakuan panas seperti pasteurisasi, sterilisasi, atau memasak dapat membunuh patogen namun juga memengaruhi sifat fungsional seperti denaturasi sebagian protein whey, reaksi Maillard, dan mengakibatkan terjadinya perubahan profil vitamin. Pemanasan berlebihan dapat menyebabkan denaturasi protein, oksidasi lemak, dan kerusakan vitamin, yang pada akhirnya menurunkan mutu nutrisi dan sensoris produk ternak. Oleh karena itu, optimasi parameter pengolahan menjadi penting dalam menjaga keseimbangan antara keamanan pangan dan mutu produk akhir (Vaclavik and Christian, 2008).
7. **Sanitasi dan Higiene**. Kondisi sanitasi lingkungan produksi, higiene personel, serta kebersihan peralatan

dan fasilitas merupakan faktor ekstrinsik yang kritis dalam mencegah kontaminasi silang dan mempertahankan mutu produk. Penerapan prosedur sanitasi yang tidak memadai di Rumah Potong Hewan (RPH) dapat menyebabkan kontaminasi karkas oleh bakteri patogen seperti *Salmonella* spp. dan E. coli O157:H7. Penerapan program sanitasi yang komprehensif berdasarkan Sanitation Standard Operating Procedures (SSOP) terbukti efektif dalam menekan tingkat kontaminasi mikroba pada produk akhir (Awuchi, 2023).

11.3 Sistem Jaminan Mutu dalam Industri Hasil Ternak

Sistem jaminan mutu dalam industri hasil ternak merupakan kerangka kerja terstruktur yang dirancang untuk memastikan bahwa seluruh proses produksi, pengolahan, penyimpanan, dan distribusi produk ternak berjalan sesuai dengan standar mutu dan keamanan pangan yang telah ditetapkan. Konsep ini berkembang dari pendekatan inspeksi produk akhir yang reaktif menuju sistem yang bersifat proaktif dan preventif, yaitu dengan mengendalikan seluruh proses yang berpotensi memengaruhi mutu sejak awal (Awuchi, 2023). Sistem jaminan mutu yang efektif dibangun di atas prinsip bahwa mutu tidak dapat hanya diinspeksi ke dalam produk, tetapi harus direncanakan dan dibangun ke dalam setiap tahapan proses produksi (Arvanitoyannis, 2009).

Penerapan sistem jaminan mutu di industri pangan asal hewan memiliki tantangan yang unik dibandingkan industri

pangan lainnya, mengingat karakteristik produk yang bersifat mudah rusak (*perishable*), besarnya variasi biologis bahan baku, serta potensi kontaminasi zoonosis yang tinggi (Bayril, , 2023). Penerapan sistem jaminan mutu yang efektif dalam industri hasil ternak memberikan berbagai manfaat, antara lain: (1) menjamin keamanan dan mutu produk secara konsisten; (2) mengurangi risiko penarikan produk (product *recall*) yang berpotensi menimbulkan kerugian finansial besar; (3) meningkatkan kepercayaan konsumen dan mitra bisnis; (4) memfasilitasi akses ke pasar ekspor yang mensyaratkan sertifikasi mutu; serta (5) meningkatkan efisiensi produksi melalui pengurangan pemborosan akibat produk cacat (Trienekens and Zuurbier, 2008).

11.3.1 Pengertian dan tujuan sistem jaminan mutu

Sistem jaminan mutu dapat dipahami sebagai pendekatan proaktif dan preventif terhadap pengendalian mutu, berbeda dengan inspeksi mutu konvensional yang bersifat reaktif. Sementara inspeksi mutu hanya memeriksa produk setelah selesai dibuat, sistem jaminan mutu membangun mekanisme pencegahan terjadinya ketidaksesuaian dalam setiap tahap proses produksi. Dengan demikian, masalah mutu dapat diidentifikasi dan diatasi sebelum produk jadi, bukan setelah produk tersebut rusak atau membahayakan konsumen (Fortin, 2013). Sistem jaminan mutu (*quality assurance*) dapat didefinisikan sebagai keseluruhan tindakan terencana dan sistematis yang diterapkan dalam suatu sistem pangan untuk memberikan keyakinan yang memadai bahwa suatu produk atau layanan akan memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan. Dalam konteks industri pangan, jaminan mutu mencakup

seluruh aspek yang memengaruhi kualitas produk, mulai dari seleksi bahan baku, pengendalian proses produksi, pengemasan, penyimpanan, hingga distribusi produk kepada konsumen. Saat ini konsep sistem jaminan mutu yang diadopsi oleh industri pangan semakin berkembang mengintegrasikan prinsip-prinsip manajemen risiko dalam seluruh aspek rantai pasok pangan (*food supply chain*).

Tujuan utama sistem jaminan mutu dalam industri hasil ternak mencakup beberapa aspek yang saling berkaitan. Pertama, melindungi kesehatan konsumen dengan memastikan produk yang beredar bebas dari kontaminasi biologis, kimia, dan fisik yang berbahaya. Kedua, menjaga konsistensi mutu produk sehingga ekspektasi konsumen dapat terpenuhi secara berkelanjutan. Ketiga, meminimalkan kerugian akibat produk cacat, penarikan produk (*product recall*), dan tuntutan hukum. Keempat, memenuhi persyaratan regulasi dari otoritas pengawas pangan, baik di tingkat nasional seperti BPOM dan Kementerian Pertanian, maupun di tingkat internasional. Kelima, meningkatkan daya saing produk di pasar domestik maupun ekspor. Di Indonesia, produk hewan yang diproduksi dan diperdagangkan harus memenuhi syarat Aman, Sehat, Utuh, dan Halal (ASUH) sebagaimana diamanatkan UU No. 41 Tahun 2014 tentang Peternakan dan Kesehatan Hewan.

11.3.2 Quality Control (QC) dan Quality Assurance (QA)

Dalam sistem industri hasil ternak, Quality Control (QC) dan Quality Assurance (QA) merupakan dua konsep yang saling melengkapi namun memiliki perbedaan mendasar dalam pendekatan dan pelaksanaan sistem jaminan mutu. Quality Control (QC) merupakan serangkaian aktivitas

operasional yang difokuskan pada pemeriksaan dan pengujian produk untuk mendeteksi dan mengoreksi penyimpangan mutu yang terjadi selama atau setelah proses produksi. QC bersifat reaktif, artinya bertujuan untuk mengidentifikasi produk yang tidak memenuhi standar sebelum sampai ke tangan konsumen. Kegiatan QC dalam industri hasil ternak meliputi pengujian organoleptik, analisis fisikokimia, pengujian mikrobiologis, pemeriksaan kemasan, dan verifikasi label produk.

Quality Assurance (QA) memiliki cakupan yang lebih luas dibandingkan QC, yaitu mencakup seluruh sistem dan prosedur yang dirancang untuk mencegah terjadinya masalah mutu sebelum proses produksi berlangsung. QA bersifat proaktif dan preventif, dengan fokus pada perencanaan mutu, penetapan standar prosedur operasional (SOP), pelatihan karyawan, audit internal, pengendalian dokumen, dan kajian sistem secara berkala. Dalam implementasinya, QA berperan dalam merancang sistem yang memastikan bahwa QC dapat berjalan dengan efektif.

Hubungan antara QC dan QA dapat dianalogikan sebagai berikut: QA adalah payung kebijakan dan sistem yang memastikan bahwa proses dirancang dan dijalankan dengan benar untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar, sementara QC adalah alat verifikasi yang memastikan bahwa produk yang dihasilkan memang sesuai dengan standar tersebut. Dalam praktiknya, sistem manajemen mutu yang efektif memerlukan penerapan QA dan QC secara sinergis dan terintegrasi.

11.3.3 Penerapan sistem jaminan mutu pada industri hasil ternak

Penerapan sistem jaminan mutu pada industri hasil ternak mencakup serangkaian program dan prosedur yang saling terintegrasi, mulai dari manajemen di tingkat peternakan hingga industri pengolahan. Beberapa program utama yang menjadi fondasi sistem jaminan mutu dalam industri ini antara lain sebagai berikut.

1. ***Good Farming Practices* (GFP) atau *Good Agricultural Practices* (GAP)**. Praktik pertanian dan peternakan yang baik merupakan fondasi dari seluruh sistem jaminan mutu. GFP mencakup manajemen kesehatan hewan, program vaksinasi, penggunaan obat hewan dan antibiotik yang bertanggung jawab, serta pengelolaan lingkungan kandang. Di Indonesia, Kementerian Pertanian telah menetapkan pedoman praktik budi daya ternak yang baik sebagai acuan bagi peternak dalam menghasilkan produk ternak yang aman dan bermutu (Asril *et al.*, 2022).
2. ***Good Manufacturing Practices* (GMP) atau Cara Produksi Pangan yang Baik (CPPB)**. GMP adalah sistem pengendalian yang dirancang untuk menjamin bahwa proses produksi pangan dilakukan secara konsisten dan terkendali sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. GMP mencakup persyaratan untuk bangunan dan fasilitas, peralatan dan mesin, kebersihan dan sanitasi, pengendalian hama, higiene personel, pengendalian bahan baku, pengemasan dan pelabelan, serta penanganan produk yang tidak sesuai. Di Indonesia, penerapan GMP bagi industri pangan

diatur dalam Peraturan BPOM Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penerapan Sistem Jaminan Keamanan dan Mutu Pangan Olahan di Sarana (Awuchi, 2023).

3. ***Sanitation Standard Operating Procedures*** **(SSOP)**. SSOP adalah prosedur standar operasi sanitasi yang secara spesifik mengatur kegiatan pembersihan dan sanitasi di fasilitas pengolahan pangan. SSOP merupakan prasyarat (*prerequisite program* atau PRP) yang harus dipenuhi sebelum penerapan HACCP. Program SSOP yang baik mencakup sanitasi permukaan yang berkontak dengan pangan, pencegahan kontaminasi silang, higiene karyawan, perlindungan produk dari adulterasi, pengendalian senyawa toksin, kesehatan karyawan, dan pengendalian hama (Awuchi, 2023). Penerapan SSOP yang konsisten terbukti secara signifikan dapat menurunkan jumlah cemaran mikroba pada permukaan kontak produk pangan (Bintsis, 2018).
4. ***Hazard Analysis and Critical Control Points*** **(HACCP)**. HACCP merupakan sistem pengendalian keamanan pangan berbasis analisis bahaya yang menjadi standar internasional dalam industri pangan. Penerapan HACCP pada industri hasil ternak terbukti efektif dalam mencegah terjadinya kontaminasi dan menjamin keamanan produk (Arvanitoyannis, 2009).
5. **ISO 22000:2018 dan Sistem Manajemen Keamanan Pangan**. ISO 22000 merupakan standar internasional yang mengintegrasikan prinsip-prinsip HACCP dengan elemen-elemen sistem manajemen mutu ISO 9001. Standar ini menetapkan persyaratan untuk sistem manajemen keamanan pangan yang berlaku bagi seluruh organisasi dalam rantai pangan, tanpa

memandang ukuran dan kompleksitasnya. Sertifikasi ISO 22000 memberikan pengakuan internasional atas komitmen perusahaan terhadap keamanan pangan dan menjadi keunggulan kompetitif di pasar global (Arvanitoyannis, 2009).

11.4 Keamanan Pangan Produk Ternak

Keamanan pangan merupakan aspek fundamental dalam sistem jaminan mutu produk ternak. Produk pangan asal hewan memiliki karakteristik yang membuatnya rentan terhadap berbagai jenis kontaminasi yang dapat membahayakan kesehatan konsumen. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang konsep keamanan pangan dan berbagai jenis bahaya yang mungkin terdapat pada produk hasil ternak merupakan prasyarat dalam merancang sistem pengendalian yang efektif.

11.4.1 Konsep Keamanan Pangan

Konsep keamanan pangan dalam konteks produk ternak tidak terlepas dari pemahaman tentang rantai pangan (food chain) secara keseluruhan. Pendekatan "dari ladang ke meja makan" (*from farm to table* atau *farm to fork*) menegaskan bahwa keamanan pangan harus dijamin pada setiap mata rantai produksi dan distribusi, karena kegagalan pada satu titik saja dapat membahayakan keamanan produk akhir. Pendekatan ini selaras dengan filosofi *Codex Alimentarius* yang menekankan pentingnya integrasi seluruh aspek rantai pangan dalam sistem keamanan pangan. Keamanan pangan produk ternak bersifat multidimensional dan dipengaruhi

oleh sejumlah faktor, yaitu kontaminasi biologis (bakteri, virus, parasit, jamur), kontaminasi kimia (residu pestisida, logam berat, residu obat hewan, toksin), kontaminasi fisik (benda asing seperti tulang, logam, plastik), serta bahaya allergen. Setiap jenis bahaya tersebut memiliki mekanisme kontaminasi, dampak kesehatan, serta pendekatan pengendalian yang berbeda.

11.4.2 Bahaya pada Produk Hasil Ternak

Pemahaman terhadap jenis dan sumber bahaya pada produk hasil ternak merupakan dasar dalam analisis bahaya yang menjadi inti dari sistem HACCP. Berdasarkan kategorinya, bahaya pada produk hasil ternak dibedakan menjadi bahaya biologis, bahaya kimia, dan bahaya fisik (Awuchi, 2023).

a. Bahaya Biologis. Bahaya biologis merupakan jenis bahaya yang paling umum dan paling sering dikaitkan dengan kejadian penyakit bawaan pangan. Bahaya biologis pada produk ternak dapat berasal dari berbagai jenis mikroorganisme, antara lain:
   - Bakteri patogen: *Salmonella* spp. merupakan salah satu bakteri patogen yang paling sering dijumpai pada daging unggas dan telur. Kontaminasi *Salmonella* dapat terjadi selama proses pemotongan, eviserasi, dan pengolahan. *Listeria monocytogenes* merupakan patogen yang sangat berbahaya pada produk olahan siap konsumsi (*ready-to-eat*) karena kemampuannya untuk tumbuh pada suhu refrigerasi. *Staphylococcus aureus* menghasilkan enterotoksin yang tahan panas sehingga tetap berbahaya

meskipun produk telah mengalami pemanasan. *Campylobacter jejuni* merupakan salah satu penyebab utama gastroenteritis pada manusia yang dikaitkan dengan konsumsi daging ayam yang tidak dimasak dengan sempurna (Bintsis, 2018).

- Virus: Norovirus dan virus Hepatitis A dapat mengkontaminasi produk ternak melalui air yang tercemar atau higiene personel yang buruk. Meskipun frekuensi kontaminasi virus pada produk ternak lebih rendah dibandingkan bakteri, namun dampaknya dapat sangat serius karena dosis infektif yang sangat rendah (Bintsis, 2018).
- Parasit: *Toxoplasma gondii*, *Trichinella spiralis*, dan *Taenia* spp. merupakan parasit yang dapat menginfeksi manusia melalui konsumsi daging yang tidak dimasak dengan sempurna. Pemeriksaan kesehatan hewan ante-mortem dan post-mortem di RPH merupakan langkah kritis dalam pengendalian bahaya parasit pada produk ternak (Warriss, 2010).
- Kapang penghasil mikotoksin: Beberapa jenis kapang seperti *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., dan *Penicillium* spp. dapat menghasilkan mikotoksin pada pakan ternak yang kemudian dapat terakumulasi dalam jaringan dan produk ternak (*carry-over effect*) (Bayril *et al*., 2023). Aflatoksin M1, yang merupakan metabolit dari aflatoksin B1, dapat ditemukan dalam susu sapi yang mengonsumsi pakan terkontaminasi aflatoksin (Omar, 2016).

b. Bahaya Kimia. Bahaya kimia pada produk ternak dapat bersumber dari cemaran lingkungan, penggunaan obat hewan dan pestisida, bahan tambahan pangan yang

tidak sesuai, maupun kontaminasi dari kemasan. Jenis-jenis bahaya kimia yang perlu dikendalikan antara lain:

- Residu obat hewan: Penggunaan antibiotik, hormon pertumbuhan, dan antiparasit dalam budidaya ternak berpotensi meninggalkan residu dalam daging, susu, dan telur jika tidak dipatuhi waktu henti (*withdrawal time*) yang telah ditetapkan (Matitaputty and Bustaman, 2005). Keberadaan residu antibiotik dalam produk ternak merupakan masalah kesehatan masyarakat yang serius karena dapat berkontribusi pada perkembangan resistensi antibiotik pada manusia (AMR atau *Antimicrobial Resistance*). Batas Maksimum Residu (BMR) obat hewan dalam produk pangan asal hewan di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Pertanian (Asril *et al.*, 2022).

Tabel 11. 1 Data residu beberapa antibiotika yang diketahui

Jenis antibiotik	Daging ayam	Hati ayam	Ginjal ayam	Susu sapi
Spiromisin	0,0175 s/d 0,6098 ppm	-	-	-
virginiomycin	0,053 mg/kg	0,052 mg/kg	0,062 mg/kg	-
Zinc bacitracin	0,019 mg/kg	0,015 mg/kg	0,014 mg/kg	-
Tetrasiklin	-	-	-	> 0,1 ppm

Oksiletrosiklin	-	0,7065 ppm	-	-
Penisilin-G	-	-	-	0,94 s/d 16,67 mg/kg

Sumber: (Matitaputty and Bustaman, 2005)

- Residu pestisida: Akumulasi pestisida dari pakan atau air minum dapat memengaruhi kualitas dan keamanan produk ternak. Senyawa organoklorin yang bersifat persisten dan lipofilik cenderung terakumulasi dalam jaringan lemak hewan (biomagnifikasi) (Bayril *et al*., 2023).
- Logam berat: Timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan arsenik (As) merupakan kontaminan logam berat yang dapat terakumulasi dalam produk ternak melalui pakan yang terkontaminasi atau lingkungan yang tercemar. Paparan logam berat secara kronis dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan serius pada manusia (Bintsis, 2018).
- Mikotoksin: Aflatoksin, ochratoksin, fumonisins, dan zearalenon merupakan contoh mikotoksin yang dapat mengkontaminasi pakan ternak dan selanjutnya dapat ditransfer ke dalam produk ternak. Aflatoksin M1 dalam susu dan aflatoksin B1 dalam hati ternak merupakan risiko kimia yang perlu dimonitor secara rutin (Bayril *et al*., 2023).

Tabel 11. 2 Spesifikasi persyaratan daya awet batas maksimum residu bahan makanan asal hewan (dalam mg/kg)

Jenis residu dan metabolit	Daging	Telur	Susu
Aflatoksin	0,02	0,02	0,001
Amitraz	0,05	0,05	0,01
Amoksilin	0,01	0,01	0,01
Ampisilin	0,01	0,01	0,01
Avorpasin	0,20	-	-
Basitrasin	0,50	-	0,50
Benzipenisilin	0,05	0,0015	0,01
Cacodylic acid	0,70	-	-
Carboxine	0,10	-	-
Chlorsulfuron	0,30	-	-
Gentamisin	0,10	0,10	0,10
Klortetrasiklin	0,10	0,01	0,05
Linkomisin	0,10	0,10	0,10
Oksitetrasiklin	0,10	0,05	0,05
Streptomisin	0,10	0	0,10
Spiramisin	0,05	0,05	0,05
Sulfadimidin	0,20	0,20	0,20
Tetrasiklin	0,10	0,05	0,05
Tilosin	0,10	0,10	-
Virginiamisin	0,10	0,10	-
Zinc ion	0,50	0,50	0,50

Sumber: (Matitaputty and Bustaman, 2005)

c. Bahaya Fisik. Bahaya fisik adalah benda-benda asing yang tidak seharusnya ada dalam produk pangan dan berpotensi menyebabkan cedera fisik pada konsumen. Kontaminasi fisik pada produk ternak dapat berupa serpihan tulang, pecahan logam dari peralatan

pemotongan, fragmen plastik dari kemasan, batu, kayu, rambut, atau benda asing lainnya. Pengendalian bahaya fisik pada industri hasil ternak dilakukan melalui pemeriksaan visual, penggunaan detektor logam (*metal detector*), pemeriksaan sinar-X, serta pemeliharaan peralatan yang baik dan konsisten (Awuchi, 2023).

11.5 Penerapan HACCP dalam Pengolahan Produk Ternak

Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) merupakan sistem manajemen keamanan pangan yang bersifat ilmiah, sistematis, dan preventif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan bahaya-bahaya signifikan bagi keamanan pangan. Penerapan HACCP dalam industri hasil ternak telah terbukti secara konsisten dapat menurunkan insiden penyakit bawaan pangan yang terkait dengan konsumsi produk ternak. Studi yang dilakukan di berbagai negara menunjukkan bahwa implementasi HACCP di industri pemotongan unggas secara signifikan dapat mengurangi prevalensi *Salmonella* dan *Campylobacter* pada karkas ayam. Demikian pula, penerapan HACCP di industri pengolahan susu terbukti efektif dalam menekan angka kejadian listeriosis dan penyakit zoonosis lainnya.

11.5.1 Prinsip-Prinsip HACCP

Implementasi HACCP merupakan proses yang terstruktur dan sistematis yang memerlukan persiapan yang matang, komitmen manajemen, dan keterlibatan seluruh

elemen organisasi. *Codex Alimentarius* Commission (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003) menjabarkan 12 langkah penerapan HACCP yang mencakup 5 langkah persiapan awal dan 7 prinsip HACCP (Awuchi, 2023). Ketujuh prinsip tersebut meliputi:

- Prinsip 1 – Analisis Bahaya (*Hazard Analysis*): Identifikasi semua potensi bahaya biologis, kimia, dan fisik yang mungkin terjadi pada setiap tahap proses produksi, serta penilaian signifikansi bahaya berdasarkan peluang terjadi (likelihood) dan keparahan dampaknya (severity) terhadap kesehatan konsumen.
- Prinsip 2 – Identifikasi Titik Kendali Kritis (CCP): CCP adalah suatu tahap dalam proses produksi di mana tindakan pengendalian dapat diterapkan dan sangat penting untuk mencegah, menghilangkan, atau mereduksi bahaya keamanan pangan ke tingkat yang dapat diterima. Penggunaan *Decision Tree* (pohon keputusan) Codex membantu menentukan apakah suatu tahap proses merupakan CCP atau bukan (CAC/RCP 1-1969).
- Prinsip 3 – Penetapan Batas Kritis (*Critical Limit*): Batas kritis adalah nilai atau kriteria yang memisahkan antara kondisi yang dapat diterima dan tidak dapat diterima pada setiap CCP. Batas kritis harus dapat diukur dan divalidasi secara ilmiah. Contoh: suhu pasteurisasi susu minimum 72°C selama 15 detik sebagai CCP pengendalian patogen (Huppertz *et al*., 2022).
- Prinsip 4 – Pemantauan (*Monitoring*): Prosedur pemantauan yang terencana dan terdokumentasi untuk memastikan bahwa setiap CCP berada dalam kendali dan batas kritis tidak terlampaui. Pemantauan harus dilakukan

oleh personel terlatih menggunakan peralatan yang terkalibrasi.

- Prinsip 5 – Tindakan Koreksi (*Corrective Action*): Tindakan yang harus diambil ketika hasil pemantauan menunjukkan bahwa suatu CCP tidak dalam kondisi terkendali. Tindakan koreksi mencakup penanganan produk yang berpotensi tidak aman dan identifikasi serta eliminasi penyebab penyimpangan.
- Prinsip 6 – Verifikasi: Kegiatan untuk mengkonfirmasi bahwa sistem HACCP berjalan secara efektif. Verifikasi mencakup audit internal HACCP, kalibrasi peralatan monitoring, pengambilan sampel produk untuk pengujian mikrobiologis, dan kajian ulang catatan CCP.
- Prinsip 7 – Dokumentasi dan Pencatatan (*Record Keeping*): Pemeliharaan dokumentasi yang komprehensif mencakup rencana HACCP, rekaman monitoring, rekaman tindakan koreksi, serta rekaman verifikasi. Dokumentasi yang baik menjadi bukti penerapan sistem HACCP dan mendukung keterlacakan produk.

11.6 Standarisasi Produk Hasil Ternak

Dalam industri peternakan, penerapan standar menjadi salah satu upaya untuk menjamin keamanan, mutu, dan keseragaman produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai konsep dan tujuan standarisasi penting sebagai dasar dalam penerapan sistem jaminan mutu pada produk hasil ternak.

11.6.1 Pengertian dan tujuan standarisasi

Standar adalah dokumen yang memberikan persyaratan, spesifikasi, panduan, atau karakteristik yang dapat digunakan secara konsisten untuk memastikan bahwa bahan, produk, proses, dan layanan sesuai dengan tujuannya. Standar dikembangkan melalui proses konsensus yang melibatkan pemangku kepentingan dari industri, pemerintah, konsumen, dan lembaga penelitian. Standarisasi adalah kegiatan menetapkan dan menerapkan aturan untuk kegiatan yang berulang-ulang guna mencapai tingkat ketertiban optimum dalam konteks tertentu guna meningkatkan daya saing produk di pasar. Dalam industri pangan, standarisasi bertujuan untuk menetapkan spesifikasi mutu minimum yang harus dipenuhi oleh suatu produk agar dapat dipasarkan, dikonsumsi, atau diekspor ke wilayah tertentu. Standarisasi produk ternak memiliki peran strategis dalam: (1) melindungi konsumen dari produk yang tidak aman atau berkualitas rendah; (2) menciptakan iklim persaingan yang sehat di antara pelaku usaha; (3) memfasilitasi perdagangan produk ternak antar daerah dan antar negara; (4) mendorong peningkatan efisiensi dan inovasi teknologi produksi; serta (5) memberikan acuan bagi pengembangan sistem pengawasan oleh lembaga pemerintah.

11.6.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) produk ternak

Standar Nasional Indonesia (SNI) merupakan standar yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) dan berlaku di seluruh wilayah Indonesia. SNI dikembangkan melalui proses konsensus yang melibatkan berbagai

pemangku kepentingan dan dimaksudkan untuk digunakan sebagai acuan mutu, keamanan, dan efisiensi dalam perdagangan. Beberapa SNI penting yang berkaitan dengan produk ternak antara lain:

- SNI 3932:2008 tentang Mutu Karkas dan Daging Sapi, yang mengatur persyaratan mutu daging sapi berdasarkan kelas kualitas (grade), mencakup parameter pH, warna, marbling, dan ukuran serat otot (Badan Standarisasi Nasional, 2008);
- SNI 3141.1:2011 tentang Susu Segar – Bagian 1: Sapi, yang menetapkan persyaratan organoleptik, fisikokimia, dan mikrobiologis susu segar yang diterima di instalasi pengolahan susu (Badan Standarisasi Nasional, 2011);
- SNI 3926:2023 tentang Telur Ayam Konsumsi, yang mengklasifikasikan telur berdasarkan berat dan mutu interior/eksterior serta mikrobiologi (Badan Standarisasi Nasional, 2023).
- SNI 01-6366-2000 tentang Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Batas Maksimum Residu dalam Bahan Makanan Asal Hewan, yang menetapkan batasan cemaran pada karkas, daging, telur, susu, dan produk olahannya (Badan Standarisasi Nasional, 2000).

11.6.3 Standar internasional (*Codex Alimentarius*, ISO 22000)

Codex Alimentarius adalah kumpulan standar pangan internasional, pedoman, dan kode praktik yang dikembangkan oleh Komisi *Codex Alimentarius* (CAC), sebuah badan bersama FAO/WHO yang didirikan pada tahun 1963.

Standar Codex mencakup persyaratan untuk higiene pangan, residu pestisida dan obat hewan, bahan tambahan pangan, kontaminan, metode analisis dan sampling, serta standar komoditas. Standar Codex menjadi acuan internasional dalam penyelesaian sengketa perdagangan pangan di bawah kerangka Perjanjian SPS (*Sanitary and Phytosanitary*) WTO dan menjadi standar minimum yang harus dipenuhi oleh negara anggota WTO dalam regulasi keamanan pangannya. Codex menetapkan Batas Maksimum Residu (BMR) untuk lebih dari 200 veterinary drugs dan ratusan pestisida dalam produk pangan, termasuk produk ternak (BPOM, 2017).

ISO 22000 adalah standar internasional yang menetapkan persyaratan untuk sistem manajemen keamanan pangan. Standar ini mengintegrasikan prinsip-prinsip HACCP yang dikembangkan oleh *Codex Alimentarius* dengan elemen-elemen sistem manajemen dari ISO 9001 (Quality Management Systems). Versi terbaru, ISO 22000:2018, mengadopsi struktur tingkat tinggi (High Level Structure/HLS) yang konsisten dengan standar sistem manajemen ISO lainnya, sehingga memudahkan integrasi dengan sistem manajemen mutu (ISO 9001) dan lingkungan (ISO 14001). ISO 22000 mencakup persyaratan untuk komunikasi interaktif sepanjang rantai pangan, manajemen sistem, program prasyarat (PRPs), dan prinsip HACCP. Sertifikasi ISO 22000 oleh lembaga sertifikasi terakreditasi memberikan bukti pengakuan internasional atas komitmen suatu organisasi terhadap keamanan pangan (ISO, 2018).

FSSC 22000 merupakan skema sertifikasi keamanan pangan yang komprehensif yang dibangun di atas ISO 22000 dengan menambahkan program prasyarat sektoral (ISO/TS 22002-x series) dan persyaratan tambahan dari FSSC. Skema

ini diakui oleh Global Food Safety Initiative (GFSI), sebuah organisasi yang memfasilitasi konvergensi standar keamanan pangan global dan diakui oleh sebagian besar retailer global sebagai standar minimal yang harus dipenuhi oleh pemasok produk pangan mereka. Dalam konteks industri hasil ternak, sertifikasi FSSC 22000 semakin menjadi persyaratan wajib untuk memasuki pasar ritel modern dan ekspor ke negara-negara maju (Purwanto, Asbari and Sulaiman, 2023).

11.6.4 Sertifikasi dan pelabelan produk

Sertifikasi produk ternak merupakan proses penilaian kesesuaian yang dilakukan oleh lembaga sertifikasi terakreditasi untuk memberikan jaminan tertulis bahwa suatu produk memenuhi persyaratan standar yang ditetapkan. Sertifikasi juga mampu memberikan jaminan yang lebih kuat kepada konsumen dan pembeli (*buyer*) dibandingkan deklarasi mandiri produsen (*first-party declaration*) karena melibatkan audit dan pengujian yang dilakukan secara independen. Di Indonesia, sertifikasi produk pangan asal hewan dilakukan oleh Lembaga Sertifikasi Produk (LSPro) yang diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN).

Pelabelan produk ternak merupakan instrumen penting dalam penyampaian informasi mutu dan keamanan kepada konsumen. Regulasi pelabelan produk pangan di Indonesia diatur dalam Peraturan BPOM Nomor 20 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 22 Tahun 2019 tentang Informasi Nilai Gizi pada Label Pangan Olahan. Persyaratan pelabelan mencakup: nama produk, komposisi bahan, berat bersih, informasi nilai

gizi (*nutrition facts*), tanggal produksi dan kadaluarsa, nama dan alamat produsen, nomor izin edar, serta kode produksi untuk keperluan keterlacakan.

Sertifikasi halal merupakan aspek pelabelan yang memiliki persyaratan kritis bagi produk ternak yang dipasarkan di Indonesia sebagai negara dengan mayoritas penduduk Muslim. Sertifikasi halal untuk produk hasil ternak diwajibkan oleh Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2014 tentang Jaminan Produk Halal dan diselenggarakan oleh Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal (BPJPH). Sertifikasi halal mencakup aspek kehalalan bahan baku, proses produksi, fasilitas, dan sistem manajemen halal. Produk ternak yang telah memperoleh sertifikasi halal berhak mencantumkan logo halal pada kemasannya (Regenstein *et al*., 2003).

DAFTAR PUSTAKA

Arvanitoyannis, I.S. (2009) *HACCP and ISO 22000: Application to Foods of Animal Origin*. 1st ed. Edited by I.S. Arvanitoyannis. United Kingdom: Wiley-Blackwell Publishing Ltd.

Asril, M. *et al.* (2022) *Pengawasan Mutu dan Teknologi Hasil Ternak*. 1st ed. Edited by M.J.F. Sirait. Medan: Yayasan Kita Menulis.

Awuchi, C.G. (2023) "HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems," *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). Available at: https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280.

Azkarahman, A.R. and Muchlas, M. (2020) *Kontrol Kualitas dan Keamanan Susu (From Farm to The Table)*. 1st ed. Malang: Fakultas Peternakan, Universitas Brawijaya.

Badan Standarisasi Nasional (2000) *SNI 01-6366-2000 tentang Batas maksimum cemaran mikroba dan batas maksimum residu dalam bahan makanan asal hewan*. Available at: https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/2335 (Accessed: June 15, 2026).

Badan Standarisasi Nasional (2008) *SNI 3932:2008 tentang Mutu Karkas dan Daging Sapi*. Available at: https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/3584 (Accessed: June 15, 2026).

Badan Standarisasi Nasional (2011) *SNI 3141.1:2011 tentang Susu Segar - Bagian 1: Sapi*. Available at: https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/4612 (Accessed: June 15, 2026).

Badan Standarisasi Nasional (2023) *SNI 3926:2023 tentang Telur Ayam Konsumsi*. Available at: https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/9768 (Accessed: June 15, 2026).

Bayril, T., Çetin, H. and Haspolat, Y.K. (2023) *Animal Products and Food Safety*. 1st ed. Turkiye: Orient Publications.

Bintsis, T. (2018) "Microbial pollution and food safety," *AIMS Microbiology 2018 3:377*, 4(3), pp. 377–396. Available at: https://doi.org/10.3934/MICROBIOL.2018.3.377.

BPOM (2017) *Panduan Kerja Codex Revisi 1*. 1st ed. Jakarta: Direktorat SPP, Deputi III, Badan POM RI.

Firnanda, Y.A., Ibrahim and Anindyasari, D. (2023) "Analisis Preferensi Konsumen terhadap Pembelian Daging Sapi di Perumahan Bumi Sambutan Asri Kota Samarinda," *Jurnal Peternakan Lingkungan Ternak Tropis*, 6(1), pp. 44–53.

Fortin, N.D. (2013) "HACCP and Other Regulatory Approaches to Prevention of Foodborne Diseases," *Foodborne Infections and Intoxications*, pp. 497–510. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416041-5.00035-4.

Huff-Lonergan, E. and Lonergan, S.M. (2005) "Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes," *Meat Science*, 71(1), pp. 194–204. Available at: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022.

ISO (2018) *International Standard ISO 22000:2005 - Food Safety Management Systems - Requirements for Any Organization in The Food Chain*. 2nd ed. Switzerland: ISO.ORG.

Matitaputty, P.R. and Bustaman, S. (2005) "Keamanan Pangan dan Cemaran Residu Antibiotika dalam Bahan Pangan Asal Ternak," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Berwawasan Agribisnis Mendukung Pembangunan Pertanian Wilayah Kepulauan*, pp. 429–435.

Miteluț, A.C. *et al.* (2021) "Latest Developments in Edible Coatings on Minimally Processed Fruits and Vegetables: A Review," *Foods*, 10(11), p. 2821. Available at: https://doi.org/10.3390/foods10112821.

Omar, S.S. (2016) "Aflatoxin M1 Levels in Raw Milk, Pasteurised Milk and Infant Formula," *Italian Journal of Food Safety*, 5(3), p. 5788. Available at: https://doi.org/10.4081/IJFS.2016.5788.

Purwanto, A., Asbari, M. and Sulaiman, A. (2023) "Upgrade Food Safety System Certification (FSSC 22000) Dari Versi 5.1 ke Versi Baru 6.0," *Journal of Community Service and Engagement (JOCOSAE)*, 3(2), pp. 7–11.

Regenstein, J.M., Chaudry, M.M. and Regenstein, C.E. (2003) "The Kosher and Halal Food Laws," *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2(3), pp. 111–127. Available at: https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2003.TB00018.X.

Sumarto, Hariyadi, P. and Purnomo, E.H. (2014) "Kajian Proses Perumusan Standar dan Peraturan Keamanan Pangan di Indonesia," *Jurnal Pangan*, 23(2), pp. 108–119.

Tariq, M. *et al.* (2023) "EFFECT OF SUPPLEMENTATION OF MINERALS ON THE PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF LACTATING CATTLE AND BUFFALO," *Pakistan Journal of Science*, 74(4). Available at: https://doi.org/10.57041/PJS.V74I4.803.

Trienekens, J. and Zuurbier, P. (2008) "Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges," *International Journal of Production Economics*, 113(1), pp. 107–122. Available at: https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2007.02.050.

Vaclavik, V.A. and Christian, E.W. (2008) *Essentials of Food Science*. 3rd ed. USA: Springer.

Warriss, P.D. (2010) *Meat Science an Introductory Text*. 10th ed. New York: CABI Publishing.

Wihansah, R.R.S. *et al.* (2025) *Penjaminan Mutu Hasil Ternak*. 1st ed. Edited by I.M. Nadeak. Medan: Yayasan Kita Menulis.

BAB 12
TEKNOLOGI KEMASAN DAN PENYIMPANAN HASIL TERNAK

12.1 Pentingnya Perkembangan Teknologi Kemasan dan Penyimpanan Hasil Ternak

Produk hasil ternak seperti daging, susu, dan telur merupakan komoditas pangan hewani strategis yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein bermutu tinggi, vitamin, serta mineral esensial bagi masyarakat global. Namun, secara biologis dan fisiologis, komoditas-komoditas ini diklasifikasikan sebagai bahan pangan yang sangat mudah rusak (*highly perishable foods*). Karakteristik intrinsik produk peternakan, yang ditandai dengan aktivitas air (a_w) yang tinggi (umumnya $a_w > 0,98$), kandungan protein fungsional yang kaya, serta profil asam lemak yang kompleks, menjadikannya media atau substrat yang sangat ideal bagi kolonisasi dan proliferasi cepat berbagai mikroorganisme, baik mikroba pembusuk (spoilage bacteria) maupun patogen penyebab penyakit bawaan makanan (foodborne pathogens). Tanpa adanya intervensi pascapanen yang memadai segera setelah proses pemanenan,

pemerahan, atau pemotongan, laju degradasi mutu produk akan berjalan secara eksponensial, yang pada akhirnya memicu kehilangan nilai ekonomi serta potensi bahaya kesehatan bagi konsumen.

Tantangan utama yang dihadapi dalam manajemen pascapanen hasil ternak bersumber dari tiga aspek degradasi yang saling berkaitan: kerusakan mikrobiologis, perubahan fisik, dan degradasi kimiawi. Secara mikrobiologis, kontaminasi oleh bakteri seperti *Salmonella spp., Escherichia coli, Listeria monocytogenes,* maupun bakteri psikrotrofik seperti *Pseudomonas spp.,* menjadi ancaman konstan yang mempercepat pembusukan daging dan susu selama distribusi (Galié *et al.*, 2018). Bersamaan dengan aktivitas mikroba, kerusakan kimiawi juga berlangsung secara simultan melalui jalur oksidatif. Pada komoditas daging segar, misalnya, molekul mioglobin yang bertanggung jawab atas warna merah segar (oksimioglobin) sangat rentan mengalami autooksidasi menjadi metmioglobin. Fenomena kimiawi ini mengubah penampakan visual daging menjadi kecokelatan yang tidak menarik, yang secara langsung menurunkan preferensi dan daya beli konsumen di tingkat ritel (Domínguez-Valencia *et al.*, 2019). Sementara itu, pada komoditas susu dan produk olahannya, kandungan lipid terimulsi yang tinggi sangat rentan terhadap hidrolisis dan fotooksidasi. Paparan cahaya dan oksigen memicu pembentukan senyawa volatil berbobot molekul rendah seperti aldehida dan keton, yang bertanggung jawab atas timbulnya aroma ketengikan (*rancidity*) serta penurunan palatabilitas.

Di sisi lain, perubahan fisik seperti dehidrasi permukaan, evaporasi kadar air, dan freezer burn pada

produk beku sering kali menyebabkan penurunan bobot karkas (*drip loss*) yang merugikan pelaku industri peternakan secara finansial. Kerugian ekonomi global akibat limbah makanan (*food loss dan food waste*) pada sektor produk hewani ini menjadi isu krusial yang menuntut perhatian serius dari para akademisi, praktisi, dan regulator.

Teknologi pengemasan (*packaging*) dan sistem penyimpanan (*storage*) tidak lagi dipandang secara konvensional sebagai sekadar tahap akhir atau pelengkap dari rantai pasok pascapanen. Kedua komponen tersebut kini disadari sebagai garis pertahanan utama (*the primary line of defense*) dan instrumen rekayasa lingkungan terkontrol yang menentukan keberhasilan retensi mutu pangan. Pengemasan berfungsi sebagai barier fisik mutlak yang memisahkan produk dari fluktuasi lingkungan luar, mengontrol migrasi uap air, membatasi laju penetrasi gas oksigen, serta mengeliminasi risiko kontaminasi silang selama mobilisasi logistik (Fang *et al.*, 2017).

Seiring dengan berkembangnya tuntutan konsumen terhadap produk yang segar, minim proses (*minimally processed*), bebas bahan pengawet sintetik, namun memiliki umur simpan (*shelf-life*) yang panjang, teknologi di bidang ini mengalami pergeseran paradigma secara revolusioner. Pendekatan pengemasan konvensional yang bersifat pasif kini mulai digantikan oleh sistem pengemasan modern yang dinamis dan interaktif. Bab ini dirancang secara komprehensif untuk menguraikan, menganalisis, dan mendiskusikan prinsip-prinsip fundamental serta aplikasi mutakhir dari rekayasa pengemasan dan penyimpanan hasil ternak.

Pembahasan dalam bab ini akan mencakup evaluasi karakteristik berbagai bahan kemasan tradisional hingga

material ramah lingkungan (*sustainable biopolymers*). Selanjutnya, bab ini secara mendalam akan membedah arsitektur teknologi kemasan modern, termasuk sistem kemasan aktif (*active packaging*) yang mampu menyerap oksigen atau melepaskan agen antimikroba alami, serta kemasan cerdas (*smart/intelligent packaging*) yang dilengkapi sensor visual untuk memantau integritas produk secara real-time. Tidak kalah penting, prinsip dasar penyimpanan suhu rendah dan inovasi mutakhir seperti *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) serta aplikasi nanoteknologi dalam penyimpanan pangan hewani akan dikaji secara ilmiah. Melalui pemahaman integratif ini, pembaca diharapkan memperoleh fondasi konseptual dan praktis yang kokoh untuk memecahkan tantangan proteksi mutu, memperpanjang masa simpan produk, dan menegakkan sistem jaminan keamanan pangan hewani yang tangguh dari hulu hingga ke hilir.

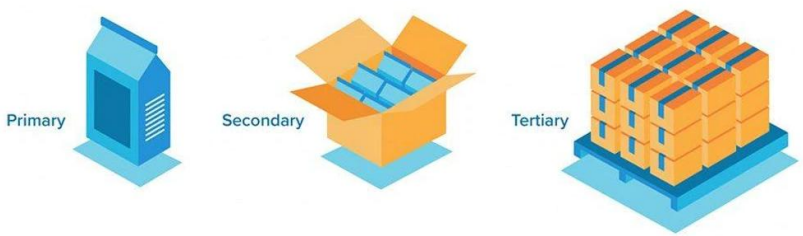
12.2 Prinsip Dasar Kemasan Hasil Ternak

Kemasan pada produk hasil ternak berfungsi lebih dari sekadar wadah fisik, melainkan sebagai sistem protektif yang berperan dalam menjaga kualitas, keamanan, dan stabilitas produk selama proses distribusi hingga konsumsi. Dalam perspektif ilmu pangan modern, kemasan didefinisikan sebagai suatu sistem terkoordinasi yang dirancang untuk melindungi produk dari faktor kerusakan fisik, kimia, dan biologis selama proses penanganan, penyimpanan, transportasi, dan pemasaran (Robertson, 2016; Marsh & Bugusu, 2007).

Produk hasil ternak seperti daging, susu, dan telur memiliki karakteristik yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Kandungan air yang tinggi, aktivitas enzimatik, serta komposisi nutrien yang kaya menjadikan produk ini sangat rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme, oksidasi lipid, serta degradasi protein. Oleh karena itu, sistem kemasan harus mampu menciptakan lingkungan mikro yang dapat memperlambat proses kerusakan tersebut melalui pengendalian oksigen, kelembapan, cahaya, dan kontaminasi mikroba (Han, 2014; McMillin, 2017).

12.2.1 Tingkatan Kemasan

Dalam sistem distribusi produk hasil ternak, kemasan tidak hanya dibedakan berdasarkan bahan dan fungsi proteksi, tetapi juga berdasarkan tingkat hierarkinya dalam rantai pasok, yaitu kemasan primer, sekunder, dan tersier. Pembagian ini penting karena setiap tingkat kemasan memiliki fungsi yang berbeda dalam menjaga integritas produk dari tahap produksi hingga sampai ke konsumen akhir. Contoh kemasan primer, sekunder, dna tersier ada pada Gambar 12.1.



Gambar 12. 1 Klasifikasi tingkatan kemasan
(Sumber: snglogistic.com)

1. Kemasan Primer

Kemasan primer merupakan kemasan yang bersentuhan langsung dengan produk hasil ternak. Fungsi utamanya adalah memberikan perlindungan langsung terhadap kontaminasi fisik, kimia, dan biologis, sekaligus menjaga mutu sensoris dan keamanan pangan. Pada produk daging segar, kemasan primer umumnya berupa plastik vakum atau film dengan sistem modified atmosphere packaging (MAP) yang mampu mengontrol kadar oksigen untuk mempertahankan warna dan menekan pertumbuhan mikroba. Pada produk susu, kemasan primer dapat berupa botol plastik food grade, karton multilayer, atau kaca yang berfungsi melindungi produk dari cahaya dan kontaminasi lingkungan. Sedangkan pada telur cair, kemasan primer harus bersifat higienis, kedap udara, dan tahan terhadap perubahan suhu untuk mencegah kontaminasi silang dan degradasi kualitas. Dengan demikian, kemasan primer berperan langsung dalam menentukan umur simpan dan keamanan produk.

2. Kemasan sekunder

Kemasan sekunder adalah kemasan yang berfungsi mengelompokkan beberapa kemasan primer untuk memudahkan penanganan, distribusi, dan pemasaran. Kemasan ini tidak selalu bersentuhan langsung dengan produk, tetapi memiliki peran penting dalam memberikan perlindungan tambahan terhadap kerusakan mekanis selama transportasi. Contohnya adalah kotak karton untuk telur, shrink wrap untuk produk susu botol, atau box karton untuk daging olahan beku. Selain fungsi proteksi, kemasan sekunder

juga berperan dalam aspek branding, informasi produk, serta efisiensi logistik karena memudahkan proses penyusunan dan distribusi dalam jumlah besar.

3. Kemasan Tersier

Kemasan tersier merupakan tingkat kemasan yang digunakan untuk keperluan distribusi dalam skala besar, penyimpanan, dan logistik. Kemasan ini umumnya tidak berhubungan langsung dengan konsumen, tetapi sangat penting dalam menjaga keamanan produk selama proses transportasi antar gudang, distribusi antar wilayah, hingga ekspor-impor. Contoh kemasan tersier meliputi palet, stretch film, kontainer, dan peti kemas. Fungsi utama kemasan tersier adalah memberikan stabilitas struktural, efisiensi ruang penyimpanan, serta perlindungan terhadap guncangan dan kondisi lingkungan ekstrem selama distribusi jarak jauh.

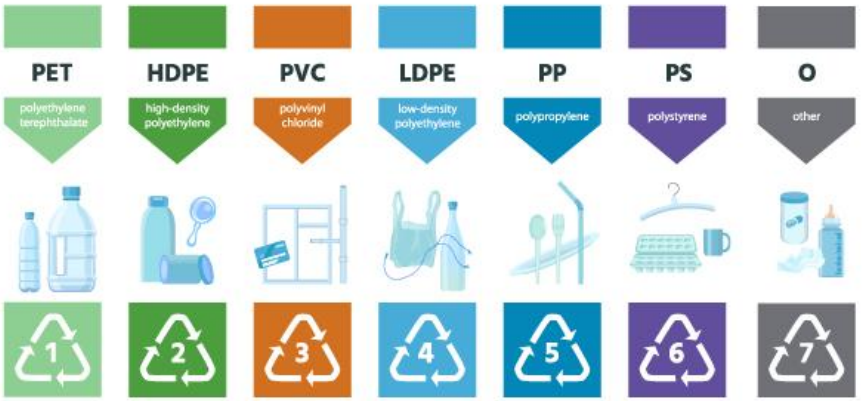
12.2.2 Jenis Bahan Kemasan dan Aplikasinya

Bahan kemasan yang digunakan dalam produk hasil ternak sangat beragam dan pemilihannya harus mempertimbangkan sifat fisik-kimia produk serta kebutuhan distribusi.

1. Plastik

Plastik merupakan bahan kemasan yang paling banyak digunakan pada produk daging segar dan olahan. Hal ini disebabkan oleh sifat fleksibel, ringan, serta kemampuan untuk dimodifikasi menjadi kemasan dengan permeabilitas rendah terhadap oksigen dan uap air. Teknik seperti vacuum packaging dan modified atmosphere packaging (MAP) banyak diterapkan untuk memperpanjang umur simpan daging dan menekan pertumbuhan mikroorganisme aerob (Devlieghere *et al*.,

2004; McMillin, 2017). Klasifikasi kemasan berbahan dasar plastik dapat dilihat pada Gambar 13.2.



Gambar 12. 2 Klasifikasi kemasan berbahan dasar plastik *(Sumber: gemapack.co.id)*

a. PET (*Polyethylene Terephthalate*) – Kode 1

PET merupakan jenis plastik yang paling umum digunakan untuk kemasan minuman dan produk pangan cair. Material ini memiliki kejernihan tinggi, kekuatan mekanik baik, serta sifat barrier yang cukup baik terhadap gas dan uap air. Dalam industri hasil ternak, PET sering digunakan untuk botol susu, minuman fermentasi, dan produk dairy ready-to-drink. Keunggulan utama PET adalah ringan, kuat, dan dapat didaur ulang, sehingga banyak digunakan dalam sistem kemasan modern berbasis sustainability.

b. HDPE (*High-Density Polyethylene*) – Kode 2

HDPE memiliki struktur lebih rapat dibandingkan LDPE sehingga memiliki ketahanan kimia yang lebih baik dan sifat barrier yang lebih tinggi terhadap kelembapan.

Dalam produk hasil ternak, HDPE sering digunakan untuk kemasan susu cair, yoghurt, dan wadah produk dingin. Material ini tahan benturan dan tidak mudah bereaksi dengan bahan pangan sehingga aman untuk kontak langsung dengan produk susu.

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*) – Kode 3

PVC memiliki fleksibilitas tinggi dan sifat sealing yang baik, namun penggunaannya dalam pangan lebih terbatas karena potensi migrasi aditif kimia seperti plasticizer. Dalam industri pangan, PVC kadang digunakan sebagai film wrapping untuk daging segar, karena mampu memberikan transparansi dan fleksibilitas tinggi. Namun, penggunaannya kini mulai berkurang dan digantikan oleh material yang lebih aman secara regulasi.

d. LDPE (*Low-Density Polyethylene*) – Kode 4

LDPE bersifat lebih fleksibel dan memiliki densitas rendah sehingga cocok untuk kemasan film tipis. Dalam produk hasil ternak, LDPE banyak digunakan sebagai lapisan dalam kemasan susu, kantong frozen food, dan pembungkus daging. Keunggulannya adalah elastisitas tinggi dan kemampuan sealing yang baik, meskipun barrier terhadap gas relatif lebih rendah dibandingkan HDPE atau PET.

e. PP (*Polypropylene*) – Kode 5

PP memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga sering digunakan untuk kemasan yang membutuhkan proses sterilisasi atau pemanasan. Dalam industri hasil ternak, PP digunakan untuk wadah yoghurt, margarin, produk daging olahan, dan kemasan ready-to-eat. Material ini juga memiliki ketahanan terhadap lemak dan bahan

kimia sehingga cocok untuk produk dengan kandungan lipid tinggi.

f. PS (*Polystyrene*) – Kode 6

PS umumnya digunakan untuk kemasan sekali pakai seperti tray daging, wadah telur, dan gelas susu. Material ini ringan dan murah, namun memiliki kelemahan pada ketahanan panas dan dampak lingkungan. Dalam konteks hasil ternak, PS masih digunakan pada sistem distribusi retail, tetapi mulai dikurangi karena isu keberlanjutan dan daur ulang.

g. *Other* (O) – Kode 7

Kategori ini mencakup berbagai jenis plastik campuran atau polimer khusus seperti polycarbonate, bioplastik, dan multilayer film. Dalam industri hasil ternak, material ini sering digunakan untuk kemasan teknologi tinggi seperti vacuum pack multilayer, MAP packaging, dan smart packaging. Kelebihannya adalah fleksibilitas desain tinggi, tetapi tantangannya adalah kompleksitas daur ulang.

2. Kaca

Kaca digunakan terutama pada produk susu cair dan beberapa produk bernilai tinggi. Keunggulan utama kaca adalah sifat inertnya yang tidak bereaksi dengan komponen pangan, sehingga tidak memengaruhi rasa maupun komposisi kimia produk. Selain itu, kaca memiliki kemampuan tinggi dalam menghambat difusi gas dan bau asing, sehingga menjaga kualitas organoleptik susu lebih stabil selama penyimpanan (Robertson, 2016).

3. Logam

Logam, seperti kaleng aluminium atau tinplate, banyak digunakan pada produk yang memerlukan

sterilisasi komersial, seperti susu evaporasi, susu kental manis, dan daging olahan (corned beef). Kemasan logam memiliki ketahanan tinggi terhadap panas dan cahaya, serta memberikan perlindungan maksimal terhadap oksigen dan mikroorganisme, sehingga memungkinkan penyimpanan jangka panjang pada suhu ruang (Han, 2014).

4. Bahan Biodegradeable

Selain bahan konvensional, bahan biodegradable mulai dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan. Material ini umumnya berasal dari polimer alami seperti pati, selulosa, kitosan, dan *polylactic acid* (PLA). Walaupun memiliki keterbatasan dalam hal kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap kelembapan, bahan ini menjadi fokus utama dalam pengembangan kemasan berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan industri pangan (Siracusa *et al*., 2008; FAO, 2021).

12.2.3 Kriteria Pemilihan Kemasan Berdasarkan Produk

Pemilihan bahan kemasan tidak dapat dilakukan secara generik, tetapi harus mempertimbangkan sifat spesifik produk hasil ternak.

1. Produk Daging

Pemilihan bahan kemasan pada produk hasil ternak tidak dapat dilakukan secara seragam, melainkan harus didasarkan pada karakteristik fisik, kimia, dan biologis masing-masing produk. Pada daging segar, salah satu aspek paling kritis adalah pengendalian permeabilitas oksigen pada kemasan. Oksigen memiliki peran ganda dalam sistem kualitas daging karena pada konsentrasi tertentu

dibutuhkan untuk mempertahankan warna merah cerah melalui pembentukan oxymyoglobin yang secara visual diasosiasikan dengan kesegaran oleh konsumen. Namun, ketidakseimbangan kadar oksigen, baik terlalu rendah maupun terlalu tinggi, dapat mempercepat oksidasi pigmen menjadi metmyoglobin yang menghasilkan perubahan warna kecokelatan dan menurunkan persepsi kualitas produk (McMillin, 2017). Oleh karena itu, penggunaan kemasan dengan kontrol permeabilitas oksigen—seperti vacuum packaging atau modified atmosphere packaging (MAP)—memberikan manfaat langsung berupa perpanjangan umur simpan, peningkatan stabilitas warna, serta pengurangan laju penolakan produk oleh konsumen, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi distribusi dan penurunan food loss.

2. Produk Susu

Pada produk susu, faktor lingkungan yang paling menentukan stabilitas mutu adalah paparan cahaya, khususnya sinar ultraviolet dan cahaya tampak berenergi tinggi. Cahaya dapat memicu reaksi fotodegradasi pada riboflavin serta mempercepat oksidasi lipid, yang kemudian menghasilkan senyawa volatil penyebab off-flavor atau perubahan cita rasa yang tidak diinginkan (Han, 2014). Dampak langsung dari proses ini adalah penurunan kualitas sensoris, hilangnya nilai gizi, serta penurunan penerimaan konsumen meskipun produk masih berada dalam batas aman konsumsi. Oleh karena itu, penggunaan kemasan dengan sifat opaque atau multilayer yang memiliki lapisan pelindung cahaya memberikan manfaat signifikan dalam menjaga stabilitas nutrisi dan flavor, memperpanjang shelf life, serta mempertahankan kualitas

organoleptik susu selama distribusi dan penyimpanan rantai dingin.

3. Produk Telur

Pada produk telur, aspek utama yang harus dikendalikan dalam sistem pengemasan adalah perlindungan terhadap kerusakan mekanis serta pengendalian kehilangan kelembapan. Struktur cangkang telur yang memiliki pori-pori mikroskopis memungkinkan terjadinya transfer uap air dan gas, sehingga tanpa kemasan yang tepat, telur dapat mengalami penurunan berat, perubahan tekstur internal, serta peningkatan risiko kontaminasi mikroba. Selain itu, selama proses distribusi, telur juga rentan terhadap gaya mekanis yang dapat menyebabkan retak atau pecah, yang secara langsung menurunkan nilai ekonomi produk. Oleh karena itu, desain kemasan yang memiliki kekuatan struktural memadai, kemampuan cushioning, serta ventilasi yang terkontrol memberikan manfaat berupa peningkatan keamanan fisik, pengurangan tingkat kerusakan selama transportasi, serta peningkatan efisiensi rantai pasok.

Secara keseluruhan, prinsip dasar kemasan hasil ternak menekankan bahwa setiap jenis produk membutuhkan pendekatan spesifik berdasarkan sensitivitasnya terhadap oksigen, cahaya, kelembapan, dan mikroorganisme. Dengan demikian, kemasan tidak hanya berfungsi sebagai pelindung pasif, tetapi sebagai sistem aktif dalam mempertahankan mutu pangan.

12.3 Teknologi Kemasan Modern

Perkembangan ilmu material dan teknologi pangan telah menggeser paradigma kemasan dari sistem pasif yang hanya berfungsi sebagai pelindung fisik menjadi sistem aktif dan cerdas yang mampu berinteraksi dengan lingkungan produk. Transformasi ini sangat penting dalam industri hasil ternak karena produk seperti daging, susu, dan telur memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap kerusakan mikrobiologis, oksidasi lipid, serta perubahan sensoris selama distribusi dan penyimpanan (Han, 2014; Robertson, 2016).

12.3.1 Kemasan Aktif *(Active Packaging)*

Kemasan aktif merupakan sistem kemasan yang secara sengaja berinteraksi dengan produk atau atmosfer di dalam kemasan untuk mempertahankan atau memperpanjang umur simpan pangan. Berbeda dengan kemasan konvensional yang bersifat pasif, kemasan aktif bekerja dengan cara mengontrol kondisi internal kemasan melalui penyerapan, pelepasan, atau modifikasi komponen tertentu seperti oksigen, kelembapan, dan senyawa volatil (Yam *et al.*, 2005).

Salah satu aplikasi utama kemasan aktif adalah penggunaan oxygen scavengers, yaitu sistem penyerap oksigen yang berfungsi menurunkan konsentrasi oksigen dalam kemasan. Dalam produk daging olahan, penurunan kadar oksigen ini sangat penting untuk menghambat pertumbuhan bakteri aerob serta memperlambat oksidasi lipid yang dapat menyebabkan ketengikan dan perubahan warna produk. Selain itu, pada produk keju dan susu olahan, kemasan aktif dapat dilengkapi dengan agen antimikroba alami seperti minyak atsiri, kitosan, atau ekstrak tanaman

yang berfungsi menekan pertumbuhan kapang dan bakteri pembusuk (Appendini and Hotchkiss, 2002).

Tabel 12. 1 Contoh kemasan aktif pada produk hasil ternak

Jenis kemasan aktif	Contoh produk	Mekanisme kerja	Manfaat utama
Oxygen scavenger sachet	Sosis, ham, nugget, corned beef	Menyerap oksigen dalam kemasan	Menghambat oksidasi lemak dan bakteri aerob
Antimicrobial film	Keju, daging iris, produk susu olahan	Melepaskan senyawa antimikroba alami	Menghambat kapang dan bakteri pembusuk
Absorbent pad aktif	Daging segar, ayam segar	Menyerap cairan/drip dari produk	Mengurangi media pertumbuhan mikroba
CO_2 emitter	Daging segar, unggas, daging olahan	Melepaskan karbon dioksida	Menekan mikroba aerob pembusuk
Moisture control packaging	Keju, susu bubuk, produk kering	Mengontrol kelembapan ruang kemasan	Mencegah kapang, penggumpalan, dan perubahan tekstur

1. *Oxygen scavengers*

Penerapan *oxygen scavengers* pada produk hasil ternak dapat ditemukan pada kemasan daging olahan seperti sosis, ham, nugget, bakso beku, dan corned beef yang dikemas menggunakan plastik multilapis kedap udara. Pada sistem ini, penyerap oksigen umumnya ditempatkan dalam bentuk sachet kecil berbasis serbuk

besi, asam askorbat, atau senyawa enzimatis di dalam kemasan. Sachet tersebut bekerja dengan mengikat oksigen sisa yang masih terperangkap setelah proses pengemasan, sehingga kadar oksigen dalam ruang kemasan menurun. Kondisi rendah oksigen ini bermanfaat untuk memperlambat oksidasi lemak, mempertahankan aroma produk, mengurangi perubahan warna, serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme aerob. Pada produk daging olahan berlemak tinggi, penggunaan oxygen scavenger sangat penting karena oksidasi lipid dapat menghasilkan aroma tengik dan menurunkan penerimaan konsumen.

2. *Antimicrobial film*

Kemasan antimikroba berbasis film aktif yang digunakan pada keju, daging iris, atau produk susu olahan. Film kemasan dapat dibuat dari bahan seperti kitosan, gelatin, pati, atau polimer sintetis yang diperkaya dengan senyawa antimikroba alami, misalnya minyak atsiri oregano, thyme, rosemary, kayu manis, atau ekstrak tanaman tertentu. Senyawa aktif tersebut dilepaskan secara perlahan ke permukaan produk atau ruang antarproduk dan kemasan, sehingga mampu menekan pertumbuhan kapang, khamir, maupun bakteri pembusuk. Pada keju, kemasan antimikroba bermanfaat untuk memperlambat pertumbuhan kapang di permukaan, menjaga tampilan produk, mempertahankan cita rasa, dan memperpanjang umur simpan selama penyimpanan dingin.

3. *Absorbent pad*

Pada kemasan daging segar sering digunakan *absorbent pad* aktif, yaitu bantalan penyerap cairan yang

diletakkan di bagian bawah tray kemasan. Bantalan ini menyerap drip atau cairan yang keluar dari daging selama penyimpanan. Jika cairan tersebut tidak dikendalikan, maka dapat menjadi media pertumbuhan mikroba dan menurunkan tampilan visual produk. Pada pengembangan modern, absorbent pad tidak hanya menyerap cairan, tetapi juga dapat dikombinasikan dengan senyawa antimikroba untuk menghambat pertumbuhan bakteri pada permukaan daging.

4. *Carbon dioxide emitter*

Carbon dioxide emitter pada kemasan daging dan unggas. Sistem ini bekerja dengan melepaskan CO_2 secara bertahap ke dalam ruang kemasan. Karbon dioksida memiliki efek menghambat pertumbuhan sebagian mikroorganisme pembusuk, terutama bakteri aerob Gram-negatif. Teknologi ini sering dikombinasikan dengan modified atmosphere packaging agar komposisi gas dalam kemasan tetap stabil selama penyimpanan. Manfaatnya adalah memperpanjang umur simpan produk, mengurangi laju pembusukan, serta menjaga kualitas sensoris daging selama distribusi.

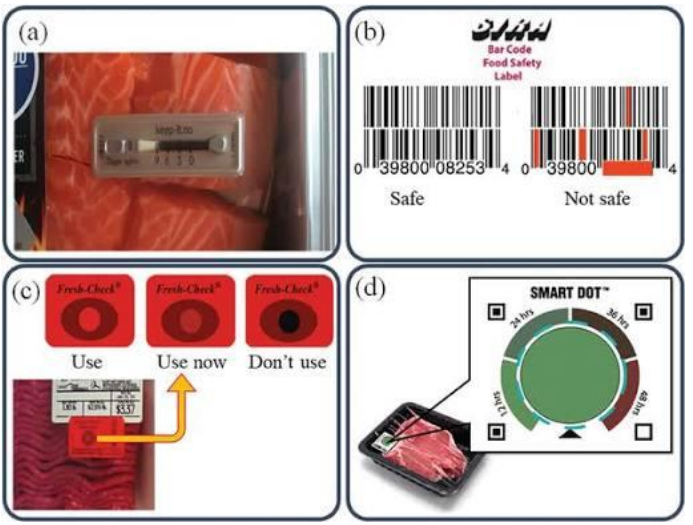
5. *Moisture control packaging*

Produk olahan susu tertentu, seperti keju semi-keras atau keju parut, dapat digunakan kemasan aktif dengan *moisture control*, yaitu kemasan yang mampu mengatur kelembapan di dalam ruang kemasan. Sistem ini dapat berupa lapisan penyerap uap air atau bahan pengendali kelembapan yang mencegah kondensasi. Pengendalian kelembapan sangat penting karena kelembapan yang terlalu tinggi dapat mempercepat

pertumbuhan kapang, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan produk mengering dan mengalami perubahan tekstur.

12.3.2 Kemasan Cerdas *(Smart/Intelligent Packaging)*

Kemasan cerdas merupakan inovasi lanjutan yang tidak hanya berfungsi sebagai pelindung, tetapi juga sebagai sistem informasi yang mampu memberikan data real-time mengenai kondisi produk. Teknologi ini biasanya dilengkapi dengan sensor, indikator, atau label yang dapat berubah secara visual maupun digital berdasarkan kondisi lingkungan produk (Kuswandi *et al.*, 2011).



Gambar 12. 3 Time-temperature indicator pada smart packaging
(Sumber: researchgate.net)

Salah satu contoh yang paling banyak digunakan adalah Time-Temperature Indicator (TTI), yaitu label yang berubah warna apabila produk mengalami penyimpangan

suhu selama distribusi (Gambar 13.3). Dalam industri daging dan susu, TTI sangat penting karena rantai dingin merupakan faktor kritis dalam menjaga keamanan pangan. Jika terjadi gangguan suhu, indikator ini akan menunjukkan perubahan warna sebagai sinyal bahwa produk mungkin telah mengalami penurunan kualitas, meskipun belum melewati tanggal kedaluwarsa.

Selain TTI, terdapat juga indikator pH dan indikator gas yang dapat mendeteksi perubahan senyawa volatil hasil degradasi protein, seperti amonia dan amina biogenik. Perubahan ini sering berkorelasi langsung dengan tingkat kebusukan produk. Dengan adanya kemasan cerdas, sistem pengawasan kualitas tidak lagi bergantung sepenuhnya pada estimasi waktu simpan, tetapi berbasis kondisi aktual produk selama distribusi (Realini and Marcos, 2014).

Pada perkembangan yang lebih lanjut, smart packaging juga telah terintegrasi dengan RFID (*Radio Frequency Identification*) dan QR code tracking system. Teknologi ini memungkinkan pelacakan digital terhadap seluruh rantai distribusi produk, mulai dari proses produksi, penyimpanan, hingga distribusi ke konsumen akhir. Dalam konteks produk hasil ternak, sistem ini sangat penting untuk menjamin traceability, meningkatkan transparansi rantai pasok, serta mempercepat penarikan produk (recall) apabila terjadi masalah keamanan pangan.

12.3.3 Kemasan Berkelanjutan *(Sustainable Packaging)*

Isu keberlanjutan lingkungan telah mendorong pengembangan kemasan ramah lingkungan yang mampu mengurangi ketergantungan terhadap plastik konvensional berbasis petroleum. Dalam konteks ini, kemasan

berkelanjutan mencakup penggunaan bioplastik, material biodegradable, serta edible film yang dapat terurai secara alami atau bahkan dapat dikonsumsi bersama produk (Siracusa *et al.*, 2008).

Biopolimer seperti *polylactic acid* (PLA), pati termodifikasi, selulosa, dan kitosan telah banyak dikembangkan sebagai alternatif kemasan pangan. Selain itu, edible film berbasis gelatin dan protein susu juga mulai diaplikasikan pada produk hasil ternak untuk melapisi permukaan produk seperti keju atau daging olahan guna mengurangi kontak dengan oksigen dan mikroorganisme.

Edible coating berbasis kitosan atau protein susu pada produk keju dan daging olahan. Lapisan ini diaplikasikan langsung pada permukaan produk dan berfungsi sebagai penghalang tambahan terhadap oksigen, uap air, serta mikroorganisme. Pada keju, edible coating ini dapat memperlambat pertumbuhan kapang di permukaan, menjaga tekstur, serta memperpanjang umur simpan tanpa menambah limbah kemasan karena lapisan tersebut dapat ikut dikonsumsi bersama produk. Penggunaan film kemasan berbasis pati (*starch-based film*) untuk produk daging segar yang berfungsi sebagai pembungkus primer ramah lingkungan. Film ini dapat terurai secara biologis, dan dalam beberapa formulasi juga ditambahkan agen antimikroba alami seperti minyak atsiri untuk meningkatkan daya simpan produk. Namun, penggunaannya masih terbatas karena sensitivitas terhadap kelembapan dan kekuatan mekanik yang lebih rendah dibanding plastik konvensional.

Pada industri susu mulai dikembangkan kemasan karton multilayer berbasis serat alami (*paper-based aseptic packaging*) sebagai alternatif botol plastik. Kemasan ini

menggunakan kombinasi serat kertas, lapisan tipis polimer biodegradable, dan lapisan aluminium tipis untuk menjaga sterilitas produk susu UHT. Pendekatan ini mampu mengurangi jejak karbon sekaligus mempertahankan stabilitas produk pada suhu ruang dalam jangka panjang.

Meskipun memiliki potensi besar, kemasan berkelanjutan masih menghadapi tantangan teknis, terutama terkait kekuatan mekanik, ketahanan terhadap kelembapan, serta performa barrier terhadap gas. Oleh karena itu, pengembangan kemasan berkelanjutan perlu diarahkan pada keseimbangan antara aspek lingkungan, keamanan pangan, dan efisiensi teknis dalam rantai distribusi (FAO, 2021).

12.4 Prinsip Dasar Penyimpanan Hasil Ternak

Keberhasilan teknologi pengemasan pada produk hasil ternak tidak dapat dipisahkan dari sistem penyimpanan yang tepat, karena kualitas produk tidak hanya ditentukan pada saat proses pengemasan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama distribusi dan penyimpanan. Produk hasil ternak memiliki sifat sangat mudah rusak (highly perishable) akibat kandungan air yang tinggi, aktivitas enzimatik, serta keberadaan mikroorganisme alami yang dapat berkembang cepat apabila kondisi lingkungan mendukung (FAO, 2019;Robertson, 2016).

Secara umum, kualitas penyimpanan produk hasil ternak dipengaruhi oleh tiga faktor lingkungan utama, yaitu suhu, kelembapan nisbi (*relative humidity*), dan intensitas cahaya. Suhu merupakan faktor paling dominan karena secara langsung memengaruhi laju reaksi biokimia dan pertumbuhan mikroorganisme. Pada suhu yang tidak

terkendali, bakteri pembusuk dapat berkembang secara eksponensial, sementara enzim endogen pada daging dan susu tetap aktif dan mempercepat proses degradasi mutu (McMillin, 2017). Oleh karena itu, pengendalian suhu menjadi fondasi utama dalam sistem cold chain.

Metode penyimpanan yang paling umum digunakan dalam industri hasil ternak adalah pendinginan (chilling), pembekuan (freezing), dan pengeringan (drying). Metode penyimpanans secara umum yang digunakan di dalam industri adalah sebagai berikut:

1. *Chilling*

Metode *chilling* atau pendinginan merupakan metode penyimpanan pada suhu 0°C hingga 4°C yang bertujuan untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme tanpa menghentikannya sepenuhnya. Pada kondisi ini, fase logaritmik pertumbuhan bakteri dapat ditekan sehingga umur simpan produk seperti daging segar, susu pasteurisasi, dan telur cair dapat diperpanjang secara signifikan (FDA, 2022). Namun demikian, metode ini tetap membutuhkan kontrol ketat karena fluktuasi suhu kecil sekalipun dapat mempercepat kerusakan produk.

2. *Freezing*

Berbeda dengan pendinginan, metode pembekuan atau *freezing* dilakukan pada suhu -18°C atau lebih rendah untuk menghentikan aktivitas mikrobiologis dan memperlambat reaksi kimia dalam produk. Pada kondisi ini, sebagian besar air dalam produk berubah menjadi kristal es sehingga aktivitas air (*water activity*) menurun drastis. Hal ini menyebabkan mikroorganisme tidak dapat tumbuh dan reaksi enzimatik menjadi sangat terbatas.

Pembekuan sangat efektif untuk penyimpanan jangka panjang pada produk seperti karkas ayam, daging sapi, dan produk olahan beku (FAO, 2021). Meskipun demikian, proses pembekuan tidak membunuh seluruh mikroorganisme, sehingga risiko reaktivasi tetap ada ketika produk dicairkan kembali.

3. *Drying*

Selain pendinginan dan pembekuan, metode *drying* atau pengeringan juga menjadi teknik penting dalam pengawetan produk hasil ternak. Pengeringan bertujuan menurunkan aktivitas air (a_w) hingga pada tingkat yang tidak memungkinkan mikroorganisme untuk tumbuh. Produk seperti dendeng, abon, dan susu bubuk merupakan contoh hasil ternak yang sangat bergantung pada teknik ini. Dengan menurunkan kadar air, stabilitas produk meningkat secara signifikan dan umur simpan dapat diperpanjang tanpa kebutuhan rantai dingin.

Dalam praktiknya, terdapat perbedaan mendasar antara penyimpanan produk segar dan produk olahan. Produk segar seperti karkas daging atau telur cangkang lebih sensitif terhadap perubahan kelembapan dan suhu karena masih memiliki aktivitas biologis yang tinggi. Oleh karena itu, pengendalian kelembapan menjadi sangat penting untuk mencegah penyusutan berat (*weight loss*) dan menjaga kualitas visual produk. Sebaliknya, produk olahan seperti sosis, keju, atau daging asap lebih difokuskan pada pencegahan kontaminasi silang, oksidasi lemak, dan stabilitas mikrobiologis selama penyimpanan (McMillin, 2017; Robertson, 2016).

12.5 Inovasi dalam Penyimpanan Hasil Ternak

Perkembangan teknologi penyimpanan hasil ternak dalam dekade terakhir menunjukkan pergeseran paradigma dari sistem konvensional berbasis suhu statis menuju sistem yang lebih adaptif, efisien, dan berbasis rekayasa lingkungan atmosfer. Fokus utama inovasi ini adalah meningkatkan umur simpan produk, mempertahankan kualitas sensoris, serta menekan kehilangan pangan (food loss) melalui kontrol lingkungan mikro di sekitar produk (FAO, 2021; Robertson, 2016).

Salah satu inovasi paling penting dalam bidang ini adalah penyimpanan berbasis atmosfer termodifikasi (*Modified Atmosphere Storage/Packaging*—MAP). Teknologi ini bekerja dengan mengatur komposisi gas di dalam ruang penyimpanan atau kemasan, terutama dengan mengombinasikan oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), dan nitrogen (N_2). Pada produk daging segar, konsentrasi oksigen yang relatif tinggi digunakan untuk mempertahankan warna merah cerah yang terbentuk dari oxymyoglobin, yang secara visual menjadi indikator kesegaran bagi konsumen. Sementara itu, karbon dioksida berfungsi sebagai agen bakteriostatik yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk, dan nitrogen digunakan sebagai gas inert untuk menjaga kestabilan volume serta mencegah kolapsnya kemasan (McMillin, 2017). Kombinasi ini terbukti mampu memperpanjang umur simpan daging segar secara signifikan dibandingkan penyimpanan udara biasa.

Selain teknologi atmosfer termodifikasi, perkembangan nanoteknologi juga mulai memberikan kontribusi penting dalam sistem penyimpanan hasil ternak.

Aplikasi *nano-coatings* pada permukaan kemasan atau ruang penyimpanan memungkinkan terciptanya lapisan pelindung dengan aktivitas antimikroba tinggi. Salah satu pendekatan yang banyak dikaji adalah penggunaan nanopartikel seperti nano-silver yang memiliki kemampuan mengganggu membran sel mikroorganisme sehingga dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen di lingkungan penyimpanan. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan keamanan mikrobiologis, tetapi juga memperpanjang stabilitas produk tanpa perlu penambahan bahan pengawet kimia secara langsung (Youssef & El-Sayed, 2018; Cushen *et al*., 2012). Namun demikian, penerapan teknologi ini tetap harus mempertimbangkan aspek keamanan pangan, potensi migrasi nanopartikel, serta regulasi yang berlaku.

Inovasi lainnya adalah sistem penyimpanan energi rendah, yang dikembangkan untuk menjawab tantangan keterbatasan infrastruktur cold chain di wilayah pedesaan atau daerah terpencil. Sistem ini mengintegrasikan teknologi pendingin hemat energi seperti thermoelektrik, insulasi termal canggih, serta sumber energi terbarukan seperti panel surya. Pendekatan ini sangat relevan untuk unit pemotongan hewan skala kecil atau distribusi produk hasil ternak di wilayah dengan akses listrik terbatas. Selain mengurangi biaya operasional, sistem ini juga mendukung aspek keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil dan sistem refrigerasi konvensional yang beremisi tinggi (FAO, 2021).

Secara keseluruhan, inovasi dalam penyimpanan hasil ternak menunjukkan arah pengembangan yang semakin terintegrasi antara teknologi material, rekayasa atmosfer, dan efisiensi energi. MAP, nanoteknologi, dan sistem

penyimpanan energi rendah bukan hanya berfungsi secara individual, tetapi juga dapat dikombinasikan untuk menciptakan sistem penyimpanan yang lebih stabil, aman, dan berkelanjutan. Integrasi teknologi ini menjadi kunci dalam menghadapi tantangan global terkait peningkatan permintaan pangan hewani, pengurangan food loss, serta tuntutan keberlanjutan lingkungan dalam industri peternakan modern.

DAFTAR PUSTAKA

Appendini P and Hotchkiss JH. 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 3(2): 113–126. https://doi.org/10.1016/ S1466-8564(02)00012-7.

Cushen M, Kerry JP, Morris M, Cruz-Romero M and Cummins E. 2012. Nanotechnologies in the food industry—Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science & Technology*. 24(1): 30–46. https:// doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.006.

Devlieghere F, Vermeiren L and Debevere J. 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*. 14(4): 273–285. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.07.002.

Domínguez-Valencia R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba F, Zhang W and Lorenzo JM. 2019. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*. 8: 429. https://doi.org/10.3390/antiox8100429.

Fang Z, Zhao Y, Warner RD and Johnson SK. 2017. Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*. 61: 60–71. https://doi.org/ https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002.

FAO. 2019. Food Loss And Waste In Meat And Dairy Supply Chains. Available at: https://www.fao.org.

FAO. 2021a. Cold Chain And Food Preservation Innovations For Sustainable Food Systems. Available at: https://www.fao.org.

FAO. 2021b. Cold Chain Development And Food Preservation Systems. Available at: https://www.fao.org.

FAO. 2021c. Food Packaging And Food Losses In Sustainable Food Systems. Available at: https://www.fao.org.

FAO. 2021d. Sustainable Food Packaging Solutions For Reducing Food Loss And Waste. Available at: https://www.fao.org.

FDA. 2022. Safe Food Storage And Refrigeration Guidelines. Available at: https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/are-you-storing-food-safely.

Galié S, García-Gutiérrez C, Miguélez EM, Villar CJ and Lombó F. 2018. Biofilms in the Food Industry: Health Aspects and Control Methods. *Frontiers in Microbiology*. Volume 9-2018. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00898.

Han JH. 2014. Chapter 1 - A Review of Food Packaging Technologies and Innovations. in J.H. Han (ed.) *Innovations in Food Packaging (Second Edition)*. Second Edition. San Diego. Academic Press (Food Science and Technology) 3–12. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00001-1.

Kuswandi B, Wicaksono Y, Jayus, Abdullah A, Heng LY and Ahmad M. 2011. Smart packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*. 5(3–4): 137–146. https://doi.org/10.1007/s11694-011-9120-x.

Marsh K and Bugusu B. 2007. Food packaging—Roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*. 72(3): R39–R55. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x.

McMillin KW. 2017. Advancements in meat packaging. *Meat Science*. 132: 153–162. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.015.

Realini CE and Marcos B. 2014. Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*. 98(3): 404–419. https://doi.org/10.1016/j .meatsci. 2014.06.031.

Robertson GL. 2016. Food Packaging: Principles And Practice. 3rd edn. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b21347.

Siracusa V, Rocculi P, Romani S and Dalla Rosa M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 19(12): 634–643. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003.

Yam KL, Takhistov PT and Miltz J. 2005. Intelligent packaging: Concepts and applications. *Journal of Food Science*. 70(1): R1–R10. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x.

Youssef AM and El-Sayed SM. 2018. Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook. *Carbohydrate Polymers*. 193: 19–27. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.088.

BIODATA PENULIS



Bunga Putri Febrina, S.Pt., M.Si.
Dosen Program Studi Teknologi Pakan Ternak
Jurusan Teknologi Industri Pertanian Politeknik Negeri
Tanah laut

Penulis lahir di Solok tanggal 07 Februari 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pakan Ternak Jurusan Teknologi Industri Pertanian Politeknik Negeri Tanah laut. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Peternakan Universitas Andalas dan melanjutkan S2 pada Fakultas PeternakanJurusan Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan Institut Pertanian Bogor.

BIODATA PENULIS



Dr. Irmawaty Majid, S.Pt., M.P.
Dosen Program Studi Ilmu Peternakan
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri
Aalauddin Makassar

Penulis lahir di Larompong tanggal 27 Pebruari 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Ilmu Peternakan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Peternakan Universitas Tadulako dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran serta Pendidikan S3 pada Jurusan Ilmu Peternakan Universitas Hasanuddin.

Sejak tahun 2006, penulis aktif mengajar dan menekuni bidang peternakan, khususnya Teknologi Hasil Ternak, Mutu Produk Hewani dan Pengolahan Pangan Asal Ternak. Melalui tulisan ini penulis berupaya menghadirkan materi yang aplikatif, Ilmiah dan Mudah dipahami oleh mahasiswa, akademisi, serta pelaku usaha di bidang peternakan dan pangan.

BIODATA PENULIS



Erita, S.Pt., M.P
Dosen Program Studi Peternakan
Universitas Gajah Putih Takengon

Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh tahun 2000. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Konservasi Sumberdaya Lahan, Program Pascasarjana Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh tahun 2015. Penulis bekerja sebagai dosen tetap di Program Studi Peternakan, Universitas Gajah Putih Takengon tahun 2008 sampai sekarang, kemudian lulus Sertifikasi Dosen dan dinyatakan sebagai dosen Profesional pada bidang Ilmu Produksi dan Teknolog Pakan Ternak tahun 2019. Penulis menulis Jurnal dan buku The Effect of Soil Slope and Organic Materials on Changes of Land Physical Properties and Napier Grass (Pennisetum purpureum) Production tahun 2020. Buku Ajar,Teknologi Hasil Ternak (Pengolahan Produksi Susu) tahun 2020. Buku Referensi Penyuluhan Pertanian tahun 2022. Jurnal PKM, Edukasi dan Upaya Peningkatan Kesehatan dengan Pengolahan Minuman Herbal pada Masyarakat

Gunung Bahgie tahun 2023. Jurnal Correlation between dry matter consumption, digestibility,and final body weight of Kacang goats fed on a combination of sugarcane top leaf(STL) and urea molasses block containing different levels of coffee husk waste flour (UMB-CHWF) after weaning period tahun 2023. Jurnal PKM, Edukasi Pemilihan Menu Makanan Pekerja Wanita di Bandar Baru Bangi Selangor Malaysia tahun 2024. Buku Pengolahan Hasil Ternak Unggas (Produk Olahan Puyuh) tahun 2024 dan mendapat HKI Buku Pengolahan Hasil Ternak Unggas. Buku Pertanian Berkelanjutan tahun 2025 sebagai Editor. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat , Edukasi Dan Sosialisasi Pengolahan Cangkang Telur Menjadi Pupuk Organik Sebagai Upaya Ecopreneurship pada tahun 2025. Buku Pengantar Ilmu Peternakan (Manajemen Pemeliharaan Ayam Broiler) tahun 2025. Buku Teknologi Pascapanen Unggas (Pengolahan Telur Menjadi Produk Olahan) tahun 2025.

BIODATA PENULIS



Alief Rahmania Safitri, S.Pt., M.Pt.
Dosen Program Studi Teknologi Pakan Ternak
Jurusan Teknologi Industri Pertanian
Politeknik Negeri Tanah Laut

Penulis lahir di Bandung pada tanggal 8 Maret 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Peternakan Universitas Brawijaya Malang dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Ternak Universitas Brawijaya Malang.

BIODATA PENULIS



Nur Fitri Ramadhan, S.Pt.,M.Si
Dosen Program Studi Peternakan
Institut Teknologi dan Sains Meranti

Penulis lahir di Takalala pada tanggal 4 Januari1999. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Peternakan, Institut Teknologi dan Sains Meranti. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sarjana Peternakan (S1) di Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar dan Magister Peternakan (S2) di Universitas Hasanuddin pada bidang Ilmu dan Teknologi Peternakan, serta saat ini sedang menempuh pendidikan Program Doktor (S3) bidang Ilmu Peternakan di Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin. Bidang kajian dan penelitian yang ditekuni penulis saat ini meliputi pemanfaatan by-product ternak. Fokus penelitian penulis saat ini berkaitan dengan pengaruh metode hidrolisis kimia, enzimatik, dan mikrobial terhadap karakteristik gelatin kulit kuda serta aplikasinya sebagai bahan terapi luka.

BIODATA PENULIS



Dr. Meike Meilan Lisangan, S.P., M.Si.
Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Papua

Penulis lahir di Serui pada tanggal 20 Mei 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agronomi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknologi Pascapanen serta S3 pada Program Studi Ilmu Pangan. Penulis menekuni bidang Mikrobiologi dan Keamanan Pangan.

BIODATA PENULIS



Fitri Armianti Arief, S.Pt., M.Si.
Dosen Program Studi Peternkan
Fakultas Peternakan Universitas Papua

Penulis lahir di Ko'mara tanggal 4 Januari 2000. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Muh. Arif dan Ibu Rosmina. Penulis mulai mengabdikan diri sebagai dosen tetap pada Program Studi Peternakan Fakultas Peternakan, Universitas Papua sejak 10 Juni tahun 2025. Selama mendedikasikan diri di dunia akademik, karya ini merupakan buku pertama yang ditulis oleh penulis.

Pendidikan S1 diselesaikan pada Jurusan Peternakan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan jenjang S2 pada Jurusan Ilmu Peternakan Universitas Hasanuddin. Dalam aktivitas tri dharma perguruan tinggi, penulis aktif menekuni bidang riset pengolahan hasil ternak khususnya pada produk susu. Adapun mata kuliah yang diampu oleh penulis, beberapa di antaranya adalah mata kuliah Teknologi Hasil Ternak dan Ilmu Ternak Perah. Penulis dapat diajak berdiskusi atau

dihubungi melalui korespondensi email resmi di f.arief@unipa.ac.id.

BIODATA PENULIS



Riskayanti, S.Pt., M.Si.
Dosen Program Studi Peternakan
Fakultas Peternakan Universitas Papua

Penulis adalah dosen pada Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Papua. Lahir di Bulukumba pada tanggal 5 Juli 1999, penulis saat ini mengabdikan diri sebagai dosen PNS di Universitas Papua sejak tahun 2025. Pendidikan Sarjana (S1) ditempuh pada Jurusan Ilmu Peternakan, yang kemudian dilanjutkan dengan pendidikan Magister (S2) pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Peternakan. Sebelum bertugas di Universitas Papua, penulis memiliki pengalaman dedikasi sebagai dosen tetap di Program Studi Teknologi Produksi Ternak, Departemen Pertanian, Politeknik Lamandau sejak tahun 2024.

Dalam pengembangan karier akademik, beliau telah berhasil meraih kepercayaan dalam pengembangan riset melalui perolehan pendanaan hibah penelitian skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) BIMA tahun 2025. Pencapaian ini merupakan representasi dari dedikasi penulis dalam mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di

sektor peternakan. Selain itu, penulis juga aktif menekuni bidang penulisan buku teks dan monograf di bidang Peternakan.

BIODATA PENULIS



Rizki Prasetya, M.Pt.
Dosen Program Studi Peternakan
Fakultas Peternakan, Universitas Papua

Penulis lahir di Bantul pada tanggal 2 Desember 1996. Saat ini, penulis aktif mengabdi sebagai dosen di Program Studi S1 Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Papua (UNIPA). Dengan kepakaran spesifik di bidang Teknologi Hasil Ternak (THT), fokus akademis dan riset penulis diarahkan pada pengembangan serta inovasi produk-produk peternakan yang bernilai tambah dan aman dikonsumsi. Pendidikan Sarjana (S1) dan Magister (S2) bidang Peternakan seluruhnya diselesaikan di Universitas Jenderal Soedirman (Unsoed), Purwokerto. Untuk komunikasi, korespondensi, maupun peluang kolaborasi akademik, penulis dapat dihubungi melalui email resmi: r.prasetya@unipa.ac.id.

BIODATA PENULIS



Ditasari Amalia, S.Pt., M.Sc.
Dosen Program Studi Peternakan
Fakultas Peternakan Universitas Papua

Penulis lahir di Jakarta tanggal 25 Oktober 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Peternakan Fakultas Peternakan Universitas Papua. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 untuk Program Studi Peternakan di Universitas Gadjah Mada. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: d.amalia@unipa.ac.id.

BIODATA PENULIS



Azchar Prianka Piawan Putra, S.Pt., M.Sc.
Dosen Program Studi Peternakan
Fakultas Peternakan Universitas Papua

Penulis adalah staf pengajar di Universitas Papua yang memiliki spesialisasi di bidang Teknologi Hasil Ternak. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana dan magister di Departemen Teknologi Hasil Ternak, Universitas Gadjah Mada. Fokus riset penulis meliputi pengembangan kualitas daging, analisis fisikokimia, serta pemanfaatan bahan pangan lokal sebagai bahan fungsional dalam produk olahan daging. Selama masa karier akademisnya, penulis aktif melakukan berbagai penelitian kolaboratif yang berfokus pada inovasi produk olahan pangan berbasis sumber daya lokal. Bidang publikasi penulis secara spesifik mencakup studi mengenai karakterisasi fisikokimia, profil asam lemak, kandungan kolesterol, serta analisis aktivitas antioksidan dan karakteristik sensoris pada produk daging. Hasil dari

penelitian-penelitian tersebut telah dipublikasikan melalui berbagai jurnal ilmiah, baik di tingkat nasional maupun internasional, serta dipresentasikan dalam berbagai forum seminar ilmiah.