Dr. Ir. Rita Hayati, M.P. | Ir. Rita Feni, M.Si. | Ir. JafrizaL, M.Si. | Ir. Edy Marwan, M.M.
Ir. Suryadi, M.P. | Ir. Neti Kesumawati, M.Si. | Dr. Edi Efrita, SP., MP. | Ir. Yukiman Armadi, M.Si.
Ir. Edwar Suharnas, M.P. | Ir. Jon Jawahar, M.Si. | Ir. Rita Zurina Muchlis, M.P.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN DAN PERIKANAN

JILID I



TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN DAN PERIKANAN

JILID I

Penulis:

Dr. Ir. Rita Hayati, M.P.

Ir. Rita Feni, M.Si.

Ir. JafrizaL, M.Si.

Ir. Edy Marwan, M.M.

Ir. Suryadi, M.P.

Ir. Neti Kesumawati, M.Si.

Dr. Edi Efrita, SP., MP.

Ir. Yukiman Armadi, M.Si.

Ir. Edwar Suharnas, M.P.

Ir. Jon Jawahar, M.Si.

Ir. Rita Zurina Muchlis, M.P.

LUMINARY PRESS

CV. LUMINARY PRESS INDONESIA

TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN DAN PERIKANAN

JILID I

Penulis:

Dr. Ir. Rita Hayati, M.P.

Ir. Rita Feni, M.Si.

Ir. JafrizaL, M.Si.

Ir. Edy Marwan, M.M.

Ir. Suryadi, M.P.

Ir. Neti Kesumawati, M.Si.

Dr. Edi Efrita, SP., MP.

Ir. Yukiman Armadi, M.Si.

Ir. Edwar Suharnas, M.P.

Ir. Jon Jawahar, M.Si.

Ir. Rita Zurina Muchlis, M.P.

ISBN: 978-634-7858-49-8 | 978-634-7858-48-1

Tim Editor: Weni Yuliani, S.Si., M.M., C.Ed. | Miranti Sapitri, S.Kom.

Desain Sampul dan Tata Letak: Septia Fakhira Risti, S.Ds

Penerbit: CV LUMINARY PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 057/SBA/2024

Redaksi:

Perum. Pasadena Residence Blok J no.10, Sungai Lareh, Lubuk Minturun, Padang, Sumatera Barat

Website : www.luminarypress.id

Email : luminarypressindonesia@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 ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku **Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian dan Perikanan Jilid I** ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini merupakan bagian pertama dari rangkaian buku yang disusun untuk membahas teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan secara bertahap, sistematis, dan berkesinambungan. Sebagai buku pertama, pembahasan di dalamnya menjadi landasan untuk memahami berbagai konsep dan teknologi pengolahan yang akan dikembangkan lebih lanjut pada buku-buku berikutnya.

Hasil pertanian dan perikanan merupakan sumber pangan yang memiliki nilai gizi dan ekonomi penting bagi masyarakat. Namun, karakteristik bahan yang mudah mengalami kerusakan menyebabkan diperlukan penanganan dan pengolahan yang tepat untuk mempertahankan mutu, meningkatkan keamanan pangan, memperpanjang masa simpan, serta menghasilkan produk dengan nilai tambah. Oleh karena itu, pemahaman mengenai dasar-dasar teknologi pengolahan menjadi bagian penting dalam mendukung pemanfaatan hasil pertanian dan perikanan secara optimal.

Buku Jilid I ini diawali dengan pembahasan mengenai pengantar teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan yang mencakup ruang lingkup dan potensi hasil pertanian dan perikanan, dasar-dasar kerusakan bahan, keamanan pangan dan higiene, tren

produk pangan fungsional, serta etika dan regulasi industri pangan. Pembahasan kemudian dilanjutkan dengan teknik penanganan pascapanen, termasuk penanganan awal hasil pertanian dan perikanan, penggunaan fasilitas penyimpanan, manajemen rantai dingin, serta manajemen stok dan inventaris. Materi berikutnya mencakup teknologi pengecilan ukuran dan pemisahan, pengolahan dengan suhu rendah, pengolahan dengan suhu tinggi, pengolahan dengan pengurangan air, serta pengolahan kimia dan fermentasi.

Susunan materi tersebut dirancang secara berurutan agar pembaca dapat memahami proses pengolahan mulai dari tahap awal penanganan bahan hingga penerapan berbagai teknologi pengolahan. Pembahasan dalam buku ini juga memperhatikan aspek mutu dan keamanan pangan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan pengolahan hasil pertanian dan perikanan. Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat memberikan dasar pengetahuan yang memadai sebelum pembaca melanjutkan pembelajaran pada materi yang lebih mendalam dalam buku berikutnya.

Buku ini terutama ditujukan bagi mahasiswa dan pendidik sebagai salah satu sumber pembelajaran, tetapi juga dapat dimanfaatkan oleh praktisi, pelaku industri pangan, serta pembaca yang memiliki minat terhadap bidang teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan. Materi disajikan dengan bahasa yang sistematis dan mudah dipahami dengan tetap mempertahankan

landasan ilmiah sehingga dapat digunakan sebagai bahan ajar maupun referensi pendukung dalam proses pembelajaran.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, kontribusi, dan bantuan dalam proses penyusunan buku ini. Semoga **Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian dan Perikanan Jilid I** dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memperkaya wawasan dalam bidang teknologi pengolahan, serta menjadi landasan untuk memahami pembahasan yang lebih lanjut pada rangkaian buku berikutnya.

Beengkulu, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **iv**

BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN DAN PERIKANAN **1**

A. Ruang Lingkup dan Potensi Hasil Pertanian dan Perikanan 5

B. Dasar-Dasar Kerusakan Bahan Hasil Pertanian dan Perikanan 12

C. Konsep Keamanan Pangan dan Higiene 18

D. Tren Produk Pangan Fungsional 25

E. Etika dan Regulasi Industri Pangan 32

DAFTAR PUSTAKA **47**

BAB 2 TEKNIK PENANGANAN PASCAPANEN **51**

A. Penanganan Awal Hasil Pertanian 55

B. Penanganan Awal Hasil Perikanan 61

C. Penggunaan Fasilitas Penyimpanan 67

D. Manajemen Rantai Dingin (*Cold Chain Management*) 73

E. Manajemen Stok dan Inventaris 78

DAFTAR PUSTAKA **92**

BAB 3 TEKNOLOGI PENGECILAN UKURAN DAN PEMISAHAN **95**

A. Dasar-Dasar Pengecilan Ukuran (*Size Reduction*) 99

B. Teknik Pemisahan Mekanis 105

C. Aplikasi Pemisahan pada Produk 111

D. Teknologi Pencampuran (*Mixing*) 117
E. Teknik Emulsifikasi 122
DAFTAR PUSTAKA 136
BAB 4 TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN SUHU RENDAH 139
A. Dasar Pembekuan (*Freezing*) 143
B. Metode Pembekuan Industri 149
C. Penanganan Produk Beku 154
D. Teknologi Pendinginan (*Chilling*) 160
E. Manajemen Penyimpanan Beku 165
DAFTAR PUSTAKA 179
BAB 5 TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN SUHU TINGGI 181
A. Prinsip Termal dalam Pengolahan 185
B. Proses *Blanching* dan Pasteurisasi 191
C. Sterilisasi dan Pengalengan 197
D. Teknologi Ekstrusi 203
E. Teknologi Penggorengan (*Frying*) 209
DAFTAR PUSTAKA 224
BAB 6 TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN PENGURANGAN AIR 227
A. Prinsip Dasar Pengeringan (*Drying*) 231
B. Metode Pengeringan Industri 237
C. Pengeringan Khusus dan Konsentrasi 243
D. Teknologi Dehidrasi Osmotik 248
E. Proses Rekonstitusi 254
DAFTAR PUSTAKA 268

BAB 7 TEKNOLOGI PENGOLAHAN KIMIA DAN FERMENTASI 271

A. Pengawetan dengan Bahan Kimia Alami 275

B. Dasar Teknologi Fermentasi 280

C. Aplikasi Fermentasi Industri 285

D. Teknologi Fermentasi Enzimatis 291

E. Pengendalian Kualitas Produk Fermentasi 296

DAFTAR PUSTAKA 310

BIODATA PENULIS 313

BAB 1
PENGANTAR TEKNOLOGI PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN DAN PERIKANAN

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan ruang lingkup dan potensi hasil pertanian nabati serta perikanan hewani.
2. Menganalisis perbedaan karakteristik fundamental antara produk pertanian dan perikanan.
3. Mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab kerusakan bahan pangan.
4. Memahami konsep dasar keamanan pangan, higiene, dan sanitasi dalam industri.
5. Menjelaskan definisi dan potensi pengembangan produk pangan fungsional.
6. Menguraikan pentingnya etika dan regulasi dalam operasional industri pangan.

7. Menerapkan kerangka kerja SIKLUS PANGAN untuk menganalisis isu-isu dalam teknologi pangan.

Peta Konsep

Bab ini dimulai dengan eksplorasi **Ruang Lingkup dan Potensi** bahan baku, yang bercabang menjadi karakteristik spesifik produk nabati dan hewani. Pemahaman ini menjadi dasar untuk menyelidiki akar masalah utama dalam industri, yaitu **Dasar-Dasar Kerusakan Bahan**, yang diuraikan menjadi faktor fisik, kimia, dan mikrobiologis. Sebagai respons terhadap tantangan kerusakan dan keamanan, diperkenalkan pilar-pilar industri modern, yaitu **Konsep Keamanan Pangan dan Higiene**, **Tren Pangan Fungsional**, serta **Etika dan Regulasi**. Seluruh konsep ini saling terhubung dan membentuk fondasi komprehensif untuk memahami mengapa teknologi pengolahan menjadi sangat esensial.

Pendahuluan

Pernahkah Anda mempertimbangkan perjalanan seekor ikan dari lautan hingga tersaji di meja makan dalam bentuk ikan kaleng, atau bagaimana jutaan ton mangga yang dipanen serentak dalam satu musim dapat dinikmati sepanjang tahun dalam bentuk jus kemasan? Fenomena ini bukanlah keajaiban, melainkan hasil dari penerapan disiplin ilmu yang vital dan dinamis, yaitu teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan. Disiplin ini merupakan jantung dari sistem pangan modern yang menjembatani kesenjangan antara produksi bahan mentah di tingkat petani atau nelayan dengan konsumsi

produk jadi di tingkat konsumen. Tanpa adanya intervensi teknologi, sebagian besar hasil panen yang melimpah akan berakhir menjadi kerugian akibat kerusakan dan pembusukan.

Untuk menavigasi kompleksitas bidang ini, buku ini memperkenalkan sebuah kerangka kerja analisis terpadu yang disebut Model SIKLUS PANGAN. Kerangka ini mengajak kita untuk menganalisis setiap teknologi melalui lima lensa kritis: **Sistem** (bagaimana teknologi terintegrasi dalam rantai pasok), **Inovasi** (apa terobosan baru yang sedang berkembang), **Kualitas** (bagaimana dampaknya terhadap atribut sensorik dan nutrisi produk), **Lingkungan** (apa jejak ekologis yang ditinggalkan), dan **Utilisasi Sumber Daya** (sejauh mana efisiensinya dalam memanfaatkan bahan baku dan energi). Penggunaan kerangka ini secara konsisten akan melatih Anda untuk berpikir secara holistik, melampaui sekadar pemahaman prosedural tentang suatu metode pengolahan.

Teknologi pengolahan pangan pada hakikatnya adalah aplikasi prinsip-prinsip ilmiah dari berbagai cabang ilmu, seperti kimia, fisika, biologi, dan rekayasa, untuk mengubah bahan mentah menjadi produk yang memiliki umur simpan lebih panjang, kualitas lebih terjamin, serta bentuk yang lebih praktis dan menarik. Proses ini tidak hanya sekadar mengawetkan, tetapi juga membuka spektrum peluang yang sangat luas untuk diversifikasi produk. Sebuah singkong, misalnya, dapat diolah menjadi tepung tapioka, keripik, penganan beku, hingga bioetanol. Transformasi ini secara langsung menciptakan nilai tambah ekonomi yang signifikan, yang berdampak

pada peningkatan pendapatan produsen dan pembukaan lapangan kerja di sepanjang rantai pasok.

Ruang lingkup disiplin ini sangat luas, mencakup seluruh komoditas yang berasal dari darat (pertanian) dan air (perikanan). Masing-masing komoditas memiliki karakteristik biologis dan kimiawi yang unik, yang menuntut pendekatan teknologi yang berbeda pula. Struktur jaringan buah yang kaya akan air dan karbohidrat tentu memerlukan teknik penanganan yang berbeda dari daging ikan yang kaya akan protein dan lemak tak jenuh. Pemahaman mendalam mengenai sifat-sifat inheren dari setiap bahan baku menjadi kunci utama dalam merancang proses pengolahan yang efektif dan efisien.

Lebih jauh lagi, industri pengolahan pangan modern dihadapkan pada tuntutan yang semakin kompleks. Konsumen tidak hanya menginginkan produk yang awet dan lezat, tetapi juga aman, bergizi, dan bahkan memiliki manfaat kesehatan tambahan, yang dikenal sebagai pangan fungsional. Isu keberlanjutan juga menjadi sorotan utama, mendorong industri untuk mengembangkan proses yang minim limbah dan ramah lingkungan. Di sisi lain, setiap produk yang beredar di pasar harus mematuhi serangkaian regulasi dan standar keamanan pangan yang ketat, baik di tingkat nasional maupun internasional.

Oleh karena itu, memahami teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan bukan hanya mempelajari tentang mesin dan proses. Ini adalah studi tentang bagaimana sains dan rekayasa

dapat dimanfaatkan untuk memastikan ketahanan pangan, meningkatkan kesejahteraan ekonomi, dan memenuhi ekspektasi masyarakat global. Bab pertama ini akan berfungsi sebagai gerbang utama yang memperkenalkan Anda pada konsep-konsep fundamental, tantangan, dan peluang yang ada dalam dunia pengolahan pangan. Kita akan menjelajahi mengapa bahan pangan dapat rusak, bagaimana menjaganya agar tetap aman, dan apa saja tren yang membentuk masa depan industri ini.

Pemahaman yang komprehensif terhadap materi pengantar ini akan menjadi fondasi yang sangat penting sebelum kita melangkah lebih jauh ke dalam pembahasan teknologi-teknologi spesifik di bab-bab selanjutnya. Dengan fondasi ini, Anda akan lebih mudah mengapresiasi kompleksitas dan keilmuan di balik setiap produk pangan olahan yang Anda temui sehari-hari. Selamat memulai eksplorasi dalam dunia teknologi pengolahan pangan yang penuh tantangan dan inovasi.

A. Ruang Lingkup dan Potensi Hasil Pertanian dan Perikanan

Pembahasan mengenai teknologi pengolahan tidak dapat dilepaskan dari pemahaman mendalam terhadap objeknya, yaitu bahan mentah hasil pertanian dan perikanan. Ruang lingkup sektor ini membentang sangat luas, mencakup segala sesuatu yang dibudidayakan di darat maupun dipanen dari perairan. Secara garis besar, komoditas ini dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan asalnya, yaitu produk nabati dari pertanian dan

produk hewani dari perikanan. Masing-masing kategori memiliki keragaman yang luar biasa, mulai dari serealia, umbi-umbian, buah-buahan, dan sayuran di sisi nabati, hingga ikan, krustasea, moluska, dan rumput laut di sisi perikanan. Keragaman ini bukan hanya dari segi jenis, tetapi juga komposisi kimia, struktur fisik, dan sifat fisiologis pascapanen.

Potensi ekonomi dari kedua sektor ini, terutama bagi negara agraris dan maritim seperti Indonesia, sangat besar. Hasil pertanian dan perikanan menjadi tulang punggung bagi ketahanan pangan nasional, menyediakan sumber karbohidrat, protein, vitamin, dan mineral bagi populasi. Namun, potensi sesungguhnya sering kali belum tergarap secara optimal jika produk hanya dijual dalam bentuk mentah atau segar. Komoditas pertanian dan perikanan bersifat *perishable* atau mudah rusak serta sering kali bersifat musiman, yang menyebabkan fluktuasi harga yang tajam. Di sinilah teknologi pengolahan memegang peranan strategis sebagai katalisator untuk membuka potensi nilai tambah yang tersembunyi (Lisboa et al., 2024).

Intervensi teknologi memungkinkan transformasi bahan mentah menjadi produk olahan dengan umur simpan yang lebih panjang, jangkauan distribusi yang lebih luas, dan nilai jual yang lebih tinggi. Sebuah tomat segar yang hanya bertahan beberapa hari dapat diolah menjadi saus, pasta, atau jus yang dapat disimpan selama berbulan-bulan. Demikian pula, ikan segar yang harus segera dikonsumsi dapat diolah menjadi ikan kaleng, abon, atau surimi yang

memungkinkan ekspor ke pasar global. Proses transformasi ini secara langsung menggerakkan roda perekonomian melalui penciptaan industri hilir, penyerapan tenaga kerja, dan peningkatan pendapatan negara melalui ekspor.

Selain itu, teknologi pengolahan juga membuka pintu bagi diversifikasi produk untuk memenuhi kebutuhan pasar yang semakin beragam. Permintaan konsumen modern tidak lagi terbatas pada pemenuhan kebutuhan dasar, tetapi juga mencakup aspek kepraktisan, kesehatan, dan pengalaman sensorik. Teknologi memungkinkan pengembangan produk-produk inovatif seperti makanan siap saji (*ready-to-eat*), makanan beku, produk pangan fungsional yang diperkaya dengan zat gizi tertentu, hingga pemanfaatan hasil samping (*by-products*) menjadi produk bernilai tinggi seperti kolagen dari kulit ikan atau pektin dari kulit buah (Waqar et al., 2025). Pemanfaatan hasil samping ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular yang bertujuan untuk meminimalkan limbah.

Karakteristik unik dari setiap komoditas menuntut pendekatan teknologi yang spesifik. Sifat buah-buahan yang sensitif terhadap panas, misalnya, mendorong pengembangan teknologi pengolahan suhu rendah atau pengeringan beku. Sementara itu, kandungan lemak tak jenuh ganda pada ikan yang rentan terhadap oksidasi memerlukan teknik pengemasan vakum atau atmosfer termodifikasi. Pemahaman yang detail mengenai karakteristik bahan, seperti yang akan dibahas pada subbab berikutnya, adalah

prasyarat mutlak untuk dapat memilih dan menerapkan teknologi yang paling tepat guna (Ali et al., 2022).

Studi mengenai ruang lingkup dan potensi ini menegaskan bahwa masa depan sektor pertanian dan perikanan tidak hanya bergantung pada peningkatan produktivitas di tingkat hulu (budidaya), tetapi juga sangat ditentukan oleh kemajuan dan inovasi di sektor hilir (pengolahan). Mahasiswa teknologi pangan harus mampu melihat melampaui bentuk fisik bahan mentah dan membayangkan potensi tak terbatas yang dapat diciptakan melalui sentuhan sains dan rekayasa. Kemampuan inilah yang akan membedakan seorang inovator pangan dari sekadar produsen biasa.

Pada akhirnya, penguasaan teknologi pengolahan adalah tentang mengubah tantangan menjadi peluang. Sifat mudah rusak diubah menjadi peluang produk awet. Tantangan kemusiman diubah menjadi peluang ketersediaan sepanjang tahun. Dan tantangan limbah diubah menjadi peluang produk baru yang bernilai. Dengan demikian, teknologi pengolahan berfungsi sebagai motor penggerak yang mentransformasi kekayaan alam menjadi kesejahteraan ekonomi dan sosial yang berkelanjutan.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan hasil panen pertanian dan perikanan mentah seperti bijih mineral yang baru ditambang dari alam. Bentuknya masih kasar, nilainya belum optimal, dan rentan terdegradasi oleh lingkungan. Teknologi pengolahan pangan berfungsi sebagai proses pemurnian dan rekayasa material. Melalui serangkaian teknik yang presisi (pemanasan, pendinginan, dan

ekstraksi), bijih mineral mentah tersebut diubah menjadi berbagai bentuk produk akhir yang jauh lebih berharga, seperti komponen semikonduktor, perhiasan, atau logam paduan untuk konstruksi. Proses ini tidak hanya meningkatkan nilai jualnya secara drastis, tetapi juga membuatnya lebih stabil, tahan lama, dan fungsional untuk berbagai kebutuhan. Tanpa "peleburan" teknologi, nilai dari "bijih" tersebut tidak akan pernah terealisasi sepenuhnya.

1. Karakteristik Produk Pertanian Nabati

Produk pertanian nabati, yang mencakup kelompok buah-buahan, sayuran, serealia, dan umbi-umbian, memiliki serangkaian karakteristik unik yang secara fundamental memengaruhi cara penanganan dan pengolahannya. Salah satu ciri paling menonjol adalah kandungan air yang sangat tinggi, terutama pada buah dan sayur, yang sering kali mencapai 80–95%. Kandungan air yang tinggi ini membuat produk nabati menjadi media yang sangat ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme pembusuk seperti bakteri, kapang, dan khamir, sehingga pengendalian aktivitas air menjadi prioritas utama dalam pengawetan (Mafe et al., 2024).

Secara struktural, produk nabati tersusun atas jaringan selulosa dan pektin yang membentuk dinding sel yang kaku, memberikan tekstur renyah atau keras pada produk segarnya. Di dalam sel-sel ini terdapat berbagai komponen kimia penting seperti karbohidrat (pati dan gula), protein, vitamin (terutama vitamin C dan A yang sensitif terhadap panas dan oksidasi), mineral, dan pigmen. Setelah dipanen, produk nabati masih merupakan jaringan

hidup yang terus melangsungkan proses metabolisme, terutama respirasi, yang mempercepat proses pematangan dan akhirnya pembusukan (M. A. et al., 2024). Laju respirasi ini bervariasi antar-komoditas, di mana produk seperti brokoli dan jagung manis memiliki laju respirasi yang sangat tinggi sehingga lebih cepat rusak dibandingkan kentang atau bawang.

2. Karakteristik Produk Perikanan Hewani

Berbeda dengan produk nabati, produk perikanan hewani memiliki karakteristik yang didominasi oleh kandungan protein dan lemak yang tinggi. Daging ikan, misalnya, terdiri atas protein berkualitas tinggi yang mudah dicerna, tetapi juga sangat rentan terhadap degradasi oleh enzim proteolitik endogen (yang berasal dari dalam ikan itu sendiri) dan mikroorganisme (Ali et al., 2022). Struktur jaringan ikan juga lebih rapuh dibandingkan daging ternak darat karena memiliki jaringan ikat (*connective tissue*) yang lebih sedikit, membuatnya lebih mudah mengalami kerusakan fisik selama penanganan dan pengolahan.

Salah satu karakteristik paling krusial dari produk perikanan adalah profil lemaknya yang kaya akan asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acids* atau *PUFA*), seperti Omega-3. Meskipun sangat bermanfaat bagi kesehatan manusia, *PUFA* sangat rentan terhadap reaksi oksidasi yang menyebabkan ketengikan (*rancidity*), menghasilkan bau dan rasa tidak sedap yang menurunkan kualitas produk (Coppola et al., 2021). Selain itu, lingkungan hidup ikan yang dingin dan pH daging ikan yang

mendekati netral setelah mati menjadikannya medium yang sangat baik bagi pertumbuhan bakteri psikrofilik (bakteri yang tumbuh pada suhu dingin). Bakteri ini dapat menyebabkan pembusukan bahkan ketika ikan disimpan pada suhu pendinginan, sehingga penanganan cepat dan rantai dingin menjadi sangat kritis.

3. Pentingnya Teknologi Pengolahan dalam Meningkatkan Nilai Tambah

Teknologi pengolahan memegang peran kunci sebagai jembatan yang mentransformasi karakteristik inheren bahan baku menjadi keunggulan produk akhir. Proses ini secara esensial adalah manipulasi terkendali terhadap sifat fisik, kimia, dan biologis bahan untuk mencapai tujuan tertentu, yang pada akhirnya meningkatkan nilai tambah (Kaur & Watson, 2024). Peningkatan nilai tambah ini dapat diwujudkan dalam beberapa dimensi.

Pertama, dimensi fungsional, di mana teknologi memperpanjang umur simpan produk, mengubahnya dari komoditas yang mudah rusak menjadi produk yang stabil dan dapat didistribusikan secara luas. Contohnya adalah pengalengan ikan sarden atau pembuatan sari buah konsentrat.

Kedua, dimensi ekonomi, di mana produk olahan memiliki harga jual yang jauh lebih tinggi dibandingkan bahan mentahnya. Proses pengolahan menciptakan lapangan kerja dan menggerakkan industri hilir, memberikan kontribusi signifikan bagi perekonomian (Montojo et al., 2025). Ketiga, dimensi kemudahan dan kenyamanan (*convenience*), di mana teknologi menghasilkan produk yang lebih

mudah disiapkan dan dikonsumsi oleh konsumen modern yang memiliki keterbatasan waktu, seperti produk sayuran beku siap masak atau fillet ikan tanpa tulang. Terakhir, dimensi nutrisi dan kesehatan, di mana teknologi dapat digunakan untuk fortifikasi (penambahan zat gizi) atau pengembangan pangan fungsional yang memberikan manfaat kesehatan spesifik, menjawab permintaan pasar yang semakin sadar akan kesehatan.

B. Dasar-Dasar Kerusakan Bahan Hasil Pertanian dan Perikanan

Pernahkah Anda bertanya mengapa sepotong roti yang dibiarkan di udara terbuka akan ditumbuhi jamur, atau mengapa apel yang baru digigit permukaannya akan berubah warna menjadi cokelat? Fenomena-fenomena ini merupakan manifestasi dari proses kerusakan bahan pangan, sebuah proses alamiah yang menjadi musuh utama dalam industri pengolahan. Memahami mekanisme di balik kerusakan ini adalah langkah pertama dan paling fundamental dalam merancang strategi pengawetan yang efektif. Kerusakan bahan pangan bukanlah peristiwa tunggal, melainkan hasil dari interaksi kompleks antara faktor-faktor fisik, kimiawi, biokimiawi, dan biologis. Proses degradasi ini secara signifikan menurunkan kualitas produk, mulai dari perubahan penampilan, tekstur, rasa, dan aroma, hingga penurunan nilai gizi, bahkan dapat menyebabkan produk menjadi tidak aman untuk dikonsumsi.

Secara fundamental, semua bahan pangan hasil pertanian dan perikanan merupakan materi biologis yang komposisinya kaya akan

nutrisi, seperti air, karbohidrat, protein, dan lemak. Komposisi ini tidak hanya penting bagi manusia, tetapi juga menjadi sumber makanan yang ideal bagi berbagai jenis mikroorganisme perusak. Oleh karena itu, sejak saat dipanen, bahan pangan memulai "perlombaan melawan waktu" melawan berbagai agen perusak. Kecepatan kerusakan ini sangat dipengaruhi oleh sifat intrinsik bahan itu sendiri, seperti kadar air, pH, dan struktur fisiknya, serta faktor ekstrinsik dari lingkungan penyimpanan, seperti suhu, kelembapan, dan paparan oksigen.

Faktor fisik seperti memar akibat benturan selama transportasi dapat merusak integritas jaringan pelindung (kulit), membuka jalan bagi kontaminasi mikroba. Sementara itu, reaksi kimia seperti oksidasi lemak pada ikan dapat terjadi bahkan tanpa kehadiran mikroorganisme, menyebabkan ketengikan yang tidak diinginkan. Enzim-enzim yang secara alami terdapat dalam bahan pangan juga terus aktif setelah panen, memicu reaksi biokimia seperti pencokelatan pada buah atau pelunakan jaringan pada ikan. Di atas semua itu, ancaman terbesar sering kali datang dari kontaminasi dan pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, kapang, dan khamir yang dapat menyebabkan pembusukan total.

Kegagalan dalam mengendalikan proses-proses kerusakan ini berakibat pada kerugian ekonomi yang sangat besar, yang dikenal sebagai kehilangan pascapanen (*post-harvest losses*). Di negara-negara berkembang, angka kehilangan ini bisa mencapai 30–50% untuk beberapa komoditas, sebuah ironi di tengah tantangan

ketahanan pangan global (Kaur & Watson, 2024). Oleh karena itu, setiap teknologi pengolahan yang akan kita bahas di bab-bab selanjutnya, mulai dari pendinginan, pengeringan, hingga pengalengan, pada dasarnya dirancang untuk memperlambat atau menghentikan satu atau lebih mekanisme kerusakan ini.

Pemahaman yang mendalam terhadap musuh yang dihadapi memungkinkan kita untuk memilih metode yang tepat. Jika masalah utamanya adalah pertumbuhan bakteri, maka teknologi termal seperti pasteurisasi atau sterilisasi mungkin menjadi solusi. Jika oksidasi lemak menjadi perhatian utama, maka teknologi pengemasan vakum yang menghilangkan oksigen akan lebih efektif. Dengan demikian, mempelajari dasar-dasar kerusakan bahan pangan bukan hanya soal menghafal penyebab, tetapi tentang membangun pola pikir diagnostik untuk mengidentifikasi akar masalah dan merumuskan solusi teknologis yang presisi.

Subbab-subbab berikut akan mengurai secara lebih detail masing-masing faktor penyebab kerusakan ini. Kita akan melihat bagaimana gaya mekanis, suhu, dan cahaya dapat merusak produk secara fisik. Selanjutnya, kita akan menyelami kompleksitas reaksi kimia dan biokimia yang terjadi di dalam bahan pangan. Terakhir, kita akan membahas peran sentral mikroorganisme sebagai agen pembusukan utama dan bagaimana mereka mengubah bahan pangan yang bergizi menjadi produk yang tidak layak konsumsi.

Pengetahuan ini akan membekali Anda dengan kemampuan untuk memprediksi potensi kerusakan pada berbagai jenis

komoditas dan kondisi penyimpanan. Kemampuan prediksi ini adalah kompetensi inti bagi seorang ahli teknologi pangan, yang memungkinkan perancangan proses dan sistem penanganan yang proaktif, bukan reaktif, dalam menjaga kualitas dan keamanan produk dari ladang hingga ke meja konsumen.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan sebuah bangunan bersejarah yang terbuat dari kayu, batu, dan logam. Bangunan ini terus-menerus terancam oleh berbagai agen perusak. Faktor fisik adalah gempa bumi atau angin kencang yang dapat meretakkan struktur (kerusakan mekanis). Faktor kimia adalah hujan asam yang mengkorosi logam atau polusi udara yang melunturkan cat (oksidasi dan reaksi kimia lainnya). Faktor biokimia adalah pelapukan kayu oleh enzim jamur yang sudah ada di dalam kayu (degradasi enzimatik). Terakhir, faktor mikrobiologis adalah pertumbuhan mikroorganisme yang secara aktif menggerogoti dan merusak material bangunan (pembusukan oleh mikroorganisme). Seorang ahli restorasi harus memahami semua mekanisme kerusakan ini untuk dapat merancang metode perlindungan yang tepat, sama seperti seorang ahli teknologi pangan yang harus memahami semua mekanisme kerusakan pangan untuk merancang metode pengawetan yang efektif.

1. Faktor Fisik yang Menyebabkan Kerusakan

Kerusakan fisik merujuk pada degradasi kualitas bahan pangan yang disebabkan oleh gaya-gaya mekanis atau energi dari lingkungan eksternal, tanpa melibatkan perubahan kimia atau biologis secara

langsung pada tahap awal. Meskipun demikian, kerusakan fisik sering kali menjadi pemicu atau gerbang masuk bagi kerusakan kimiawi dan mikrobiologis yang lebih parah. Contoh paling umum adalah memar, luka, atau pecah pada buah dan sayuran yang terjadi selama proses pemanenan, penanganan, dan transportasi (M. A. et al., 2024). Luka pada permukaan kulit ini merusak lapisan pelindung alami produk, sehingga membuka akses bagi bakteri dan kapang untuk masuk dan menginfeksi jaringan internal yang kaya nutrisi.

Selain gaya mekanis, suhu yang tidak tepat juga merupakan faktor fisik yang signifikan. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan layu pada sayuran karena kehilangan air yang berlebihan (transpirasi) dan dapat merusak tekstur protein pada ikan. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah, tetapi masih di atas titik beku, dapat menyebabkan *chilling injury* (kerusakan dingin) pada buah-buahan tropis seperti pisang, yang ditandai dengan pencokelatan kulit dan kegagalan untuk matang secara normal. Paparan cahaya, terutama sinar ultraviolet, juga dapat menyebabkan kerusakan fisik seperti pemudaran warna (pigmen) pada produk dan dapat menginisiasi reaksi oksidasi (Singh & Thakur, 2024).

2. Faktor Kimia dan Biokimia Pembusukan

Kerusakan kimia adalah perubahan kualitas yang terjadi akibat reaksi kimia antarkomponen di dalam pangan itu sendiri atau dengan lingkungan, yang tidak dimediasi oleh mikroorganisme. Salah satu reaksi paling signifikan adalah oksidasi lipid (lemak),

terutama pada produk perikanan yang kaya asam lemak tak jenuh ganda. Reaksi ini dipicu oleh paparan oksigen, cahaya, dan ion logam, menghasilkan senyawa-senyawa volatil yang menyebabkan bau dan rasa tengik (Ali et al., 2022). Oksidasi juga dapat merusak vitamin-vitamin yang larut dalam lemak seperti vitamin A dan E, sehingga menurunkan nilai gizi produk.

Kerusakan biokimia, di sisi lain, dimediasi oleh enzim-enzim yang secara alami terdapat dalam bahan pangan. Contoh paling klasik adalah reaksi pencokelatan enzimatik (*enzymatic browning*) yang terjadi ketika buah atau sayuran seperti apel dan kentang dipotong. Pemotongan merusak sel dan memungkinkan enzim polifenol oksidase (PPO) bereaksi dengan senyawa fenolik dan oksigen, menghasilkan pigmen melanin berwarna cokelat. Enzim lain, seperti pektinase, dapat mendegradasi pektin dalam dinding sel buah, menyebabkan pelunakan tekstur selama proses pematangan dan pembusukan. Pada ikan, enzim proteolitik seperti katepsin dan kalpain dapat mendegradasi protein otot, menyebabkan tekstur daging menjadi lunak dan berair (Mafe et al., 2024).

3. Peran Mikroorganisme dalam Penurunan Kualitas

Mikroorganisme, yang meliputi bakteri, khamir (*yeast*), dan kapang (*mold*), merupakan agen utama penyebab pembusukan pada sebagian besar produk pangan. Mereka ada di mana-mana, di tanah, air, udara, dan pada permukaan peralatan, sehingga kontaminasi hampir tidak dapat dihindari. Pertumbuhan mereka pada bahan pangan menyebabkan perubahan drastis pada penampilan, tekstur,

rasa, dan aroma. Bakteri, misalnya, dapat memfermentasi gula menjadi asam, alkohol, dan gas, atau mendegradasi protein sehingga menghasilkan senyawa berbau busuk seperti amonia dan hidrogen sulfida, yang menjadi ciri khas pembusukan ikan dan daging (Mafe et al., 2024).

Kapang mudah terlihat dari pertumbuhannya yang membentuk filamen (miselium) pada permukaan makanan seperti roti atau buah, dan beberapa jenis kapang dapat menghasilkan mikotoksin yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Khamir sering kali menyebabkan fermentasi yang tidak diinginkan pada produk-produk berkadar gula tinggi seperti jus buah atau selai. Laju pertumbuhan mikroorganisme ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor intrinsik (pH, aktivitas air, kandungan nutrisi) dan ekstrinsik (suhu, ketersediaan oksigen, kelembapan relatif). Oleh karena itu, prinsip-prinsip utama teknologi pengawetan pangan, seperti pendinginan, pengeringan, pengasaman, dan pemanasan, pada dasarnya bertujuan untuk menciptakan kondisi yang tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme perusak ini.

C. Konsep Keamanan Pangan dan Higiene

Ketika membahas kualitas pangan, kita sering kali fokus pada aspek sensorik seperti rasa, aroma, dan tekstur. Namun, ada satu dimensi kualitas yang bersifat absolut dan tidak dapat ditawar, yaitu keamanan pangan (*food safety*). Keamanan pangan adalah jaminan bahwa suatu produk pangan tidak akan menyebabkan bahaya atau gangguan kesehatan bagi konsumen ketika disiapkan dan

dikonsumsi sesuai dengan tujuannya. Konsep ini menjadi pilar utama dalam industri pangan modern, di mana kepercayaan konsumen adalah aset yang paling berharga. Sebuah insiden keamanan pangan, sekecil apa pun, dapat menghancurkan reputasi sebuah merek yang telah dibangun bertahun-tahun dan menimbulkan dampak kesehatan masyarakat yang serius.

Fondasi dari sistem keamanan pangan yang kokoh adalah penerapan higiene dan sanitasi di seluruh rantai produksi. Higiene merujuk pada semua praktik dan kondisi yang diperlukan untuk mengendalikan bahaya dan memastikan kelayakan pangan untuk dikonsumsi manusia. Ini mencakup spektrum yang luas, mulai dari kebersihan pribadi pekerja, kesehatan ternak atau tanaman, hingga penggunaan air bersih. Sanitasi, di sisi lain, lebih fokus pada penciptaan dan pemeliharaan lingkungan yang higienis di fasilitas pengolahan. Ini termasuk desain bangunan yang mudah dibersihkan, prosedur pembersihan dan disinfeksi peralatan, pengendalian hama, dan manajemen limbah.

Implementasi higiene dan sanitasi bukanlah sekadar kegiatan membersihkan secara rutin. Ini adalah sebuah sistem yang terencana, terdokumentasi, dan terverifikasi. Setiap langkah dalam proses produksi, mulai dari penerimaan bahan baku, pengolahan, pengemasan, hingga distribusi, harus dianalisis potensinya untuk menimbulkan kontaminasi. Kontaminasi dapat berasal dari tiga kategori bahaya utama: biologis (bakteri patogen, virus, parasit), kimia (residu pestisida, toksin alami, bahan pembersih), dan fisik

(pecahan kaca, logam, plastik). Mengidentifikasi dan mengendalikan ketiga jenis bahaya ini adalah inti dari manajemen keamanan pangan.

Untuk menstandardisasi praktik-praktik ini, industri pangan global telah mengembangkan serangkaian program prasyarat (*prerequisite programs*) yang harus dipenuhi sebelum menerapkan sistem manajemen keamanan pangan yang lebih maju seperti *HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points)*. Salah satu program prasyarat yang paling fundamental adalah *Good Manufacturing Practices (GMP)* atau Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (CPPOB) di Indonesia. GMP menyediakan kerangka kerja yang komprehensif mengenai persyaratan minimum yang harus dipenuhi oleh sebuah fasilitas pengolahan pangan, mencakup aspek bangunan, peralatan, personel, proses produksi, hingga penyimpanan.

Pentingnya konsep keamanan pangan dan higiene tidak dapat dilebih-lebihkan. Globalisasi rantai pasok pangan berarti bahwa produk yang dihasilkan di satu negara dapat dikonsumsi di belahan dunia lain dalam hitungan hari. Hal ini memperluas jangkauan pasar, tetapi juga memperbesar risiko penyebaran penyakit bawaan pangan (*foodborne diseases*) jika keamanan tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, pemahaman dan komitmen terhadap prinsip-prinsip keamanan pangan dan higiene bukan lagi pilihan, melainkan syarat mutlak untuk dapat beroperasi dan bersaing di industri pangan global.

Subbab-subbab selanjutnya akan mengelaborasi lebih dalam mengenai prinsip-prinsip dasar higiene dan sanitasi, mengklasifikasikan berbagai jenis bahaya yang dapat mengontaminasi pangan, dan memperkenalkan kerangka kerja GMP sebagai fondasi operasional industri. Mempelajari materi ini akan memberikan Anda perspektif bahwa proses pengolahan pangan bukan hanya tentang menciptakan produk yang lezat, tetapi juga tentang memikul tanggung jawab besar terhadap kesehatan dan kesejahteraan konsumen.

Setiap pekerja di industri pangan, dari operator produksi hingga manajer puncak, adalah garda terdepan dalam menjaga keamanan pangan. Sebuah kelalaian kecil dalam mencuci tangan atau membersihkan peralatan dapat memiliki konsekuensi yang sangat besar. Oleh karena itu, budaya keamanan pangan (*food safety culture*), di mana setiap individu memahami, menghargai, dan mempraktikkan prinsip-prinsip higiene, harus ditanamkan secara mendalam di setiap organisasi pengolahan pangan.

Analogi/Contoh Kasus: Mengelola keamanan pangan di sebuah pabrik pengolahan ibarat mengelola sebuah ruang operasi di rumah sakit. Penerapan higiene dan sanitasi adalah seperti prosedur sterilisasi instrumen, penggunaan pakaian pelindung oleh tim medis, dan sistem ventilasi udara yang terkontrol. Tujuannya adalah untuk mencegah masuknya agen berbahaya (patogen) yang dapat menginfeksi "pasien" (produk pangan). *Good Manufacturing Practices (GMP)* adalah protokol atau standar operasional prosedur

(SOP) yang mengatur semua aspek di ruang operasi tersebut, mulai dari desain ruangan, kualifikasi dokter, hingga cara penanganan limbah medis. Kelalaian sekecil apa pun dalam protokol ini dapat berakibat fatal. Sama seperti seorang ahli bedah, seorang manajer produksi pangan memegang tanggung jawab besar terhadap "kehidupan" dan "kesehatan" konsumennya.

1. Prinsip Dasar Higiene dan Sanitasi Industri

Prinsip fundamental higiene dan sanitasi dalam industri pangan adalah pencegahan kontaminasi. Ini didasarkan pada pemahaman bahwa lebih efektif dan lebih aman untuk mencegah bahaya masuk ke dalam produk daripada mencoba menghilangkannya setelah kontaminasi terjadi. Terdapat beberapa pilar utama dalam penerapan prinsip ini.

Pertama, higiene personel, yang mencakup praktik mencuci tangan yang benar, penggunaan pakaian kerja yang bersih dan sesuai (seperti penutup kepala dan sepatu khusus), serta larangan perilaku yang tidak higienis (seperti makan atau merokok di area produksi). Personel yang sakit juga tidak diizinkan untuk menangani produk secara langsung (Wu & Hsiao, 2021).

Pilar kedua adalah desain dan pemeliharaan fasilitas serta peralatan. Bangunan pabrik harus dirancang untuk mencegah masuknya hama dan debu, dengan aliran proses yang logis dari area kotor ke area bersih untuk mencegah kontaminasi silang. Permukaan yang kontak langsung dengan makanan harus terbuat dari bahan yang tidak beracun, tidak menyerap, halus, dan mudah

dibersihkan serta didisinfeksi. Pilar ketiga adalah pengendalian proses, yang meliputi penggunaan air bersih dengan kualitas layak minum, manajemen limbah yang efektif, serta program pengendalian hama yang terpadu dan terdokumentasi dengan baik.

2. Bahaya Kontaminasi Biologi, Kimia, dan Fisik

Bahaya keamanan pangan diklasifikasikan menjadi tiga kategori. Bahaya biologi adalah ancaman terbesar dan paling umum, mencakup mikroorganisme patogen seperti bakteri (*Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*), virus (*Norovirus*, *Hepatitis A*), dan parasit. Bahaya ini dapat menyebabkan infeksi atau intoksikasi (keracunan akibat toksin yang dihasilkan mikroba) yang dapat berkisar dari penyakit ringan hingga fatal (Mafe et al., 2024). Pengendaliannya berfokus pada pencegahan kontaminasi, penghancuran patogen (misalnya melalui pemanasan), dan pencegahan pertumbuhan (misalnya melalui pendinginan).

Bahaya kimia mencakup substansi kimia berbahaya yang dapat mencemari pangan. Ini dapat berupa bahan kimia yang secara alami ada dalam bahan baku (misalnya mikotoksin dari kapang dan toksin laut pada ikan), bahan kimia yang ditambahkan secara sengaja tetapi melebihi batas aman (misalnya pengawet dan pewarna), atau bahan kimia yang mengontaminasi secara tidak sengaja (misalnya residu pestisida, pelumas mesin, atau sisa bahan pembersih). Bahaya fisik merujuk pada benda asing yang secara fisik terdapat dalam produk pangan dan dapat menyebabkan cedera pada konsumen, seperti pecahan kaca, serpihan logam, potongan

plastik, batu, atau kayu. Deteksi dan pencegahan bahaya fisik sering kali melibatkan penggunaan alat seperti detektor logam dan mesin *X-ray*.

3. Penerapan *Good Manufacturing Practices (GMP)*

Good Manufacturing Practices (GMP) adalah sistem yang memastikan bahwa produk diproduksi dan dikendalikan secara konsisten sesuai dengan standar kualitas. Ini adalah pendekatan proaktif yang mencakup serangkaian prosedur dan praktik yang dirancang untuk menghilangkan, mencegah, atau mengurangi bahaya di seluruh lingkungan produksi. GMP mencakup berbagai aspek operasional, termasuk spesifikasi bahan baku, desain dan tata letak fasilitas, kualifikasi dan pelatihan karyawan, pemeliharaan kebersihan dan sanitasi, jenis peralatan yang digunakan, serta dokumentasi dan pencatatan yang akurat.

Penerapan GMP merupakan prasyarat esensial sebelum suatu perusahaan dapat mengimplementasikan sistem manajemen keamanan pangan yang lebih canggih seperti HACCP. Tanpa fondasi GMP yang kuat, sistem HACCP tidak akan efektif. GMP menciptakan kondisi lingkungan dan operasional dasar yang diperlukan untuk produksi pangan yang aman (Yang et al., 2022). Kepatuhan terhadap GMP tidak hanya penting untuk memenuhi persyaratan regulasi, tetapi juga merupakan komitmen perusahaan terhadap kualitas dan keamanan produk yang dihasilkannya.

Kerangka Praktis: Daftar Periksa Mandiri GMP Sederhana

Gunakan daftar periksa berikut untuk evaluasi cepat terhadap penerapan prinsip-prinsip GMP di suatu area produksi:

1. **Personel:** Apakah semua personel mengenakan pakaian kerja yang bersih dan lengkap (penutup kepala, celemek, sepatu bot)? Apakah fasilitas cuci tangan tersedia, lengkap (sabun dan pengering), dan digunakan dengan benar? Adakah personel yang menunjukkan tanda-tanda sakit (batuk atau pilek) di area produksi?
2. **Bangunan dan Fasilitas:** Apakah lantai, dinding, dan langit-langit dalam kondisi baik, bersih, dan mudah dibersihkan? Apakah pencahayaan dan ventilasi cukup memadai? Adakah tanda-tanda keberadaan hama (kotoran atau serangga)?
3. **Peralatan:** Apakah permukaan yang kontak dengan makanan tampak bersih secara visual? Apakah peralatan dalam kondisi terawat baik dan tidak berkarat?
4. **Proses:** Apakah bahan baku dan produk jadi disimpan secara terpisah untuk menghindari kontaminasi silang? Apakah limbah dikelola dengan baik dan tempat sampah tertutup?

D. Tren Produk Pangan Fungsional

Di masa lalu, fungsi utama makanan adalah untuk menyediakan energi dan nutrisi dasar guna menunjang kehidupan dan pertumbuhan. Namun, seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan hubungan antara pola makan dan kesehatan,

paradigma ini telah bergeser secara signifikan. Konsumen modern tidak lagi hanya mencari pemenuhan rasa lapar atau kenikmatan sensorik; mereka mulai menuntut lebih dari makanan mereka. Mereka mencari produk yang tidak hanya menyehatkan secara umum, tetapi juga dapat memberikan manfaat kesehatan spesifik, seperti meningkatkan sistem kekebalan tubuh, mengurangi risiko penyakit kronis, atau meningkatkan fungsi kognitif. Fenomena inilah yang melahirkan dan mendorong perkembangan pesat pasar pangan fungsional.

Pangan fungsional dapat didefinisikan sebagai makanan atau komponen makanan yang memberikan manfaat kesehatan di luar nutrisi dasar. Manfaat ini berasal dari keberadaan komponen bioaktif, yaitu senyawa-senyawa yang memiliki aktivitas fisiologis di dalam tubuh. Komponen bioaktif ini dapat secara alami terkandung dalam bahan pangan, ditambahkan selama proses pengolahan, atau ditingkatkan konsentrasinya melalui teknologi tertentu. Konsep pangan fungsional menjembatani kesenjangan antara makanan dan obat-obatan, mengadopsi filosofi yang dipopulerkan oleh Hippocrates ribuan tahun lalu: "Jadikan makanan sebagai obatmu, dan obat sebagai makananmu."

Potensi pengembangan pangan fungsional dari hasil pertanian dan perikanan Indonesia sangat besar. Berbagai komoditas lokal dikenal kaya akan senyawa bioaktif. Misalnya, tempe, produk fermentasi kedelai, tidak hanya kaya protein tetapi juga isoflavon yang berpotensi sebagai antioksidan dan

fitoestrogen. Ikan-ikan laut seperti tuna dan salmon merupakan sumber alami asam lemak Omega-3 (EPA dan DHA) yang diketahui bermanfaat bagi kesehatan jantung dan otak. Rumput laut kaya akan serat pangan larut dan senyawa bioaktif seperti fukoidan yang memiliki aktivitas antivirus dan antikanker. Tantangannya adalah bagaimana memanfaatkan teknologi pengolahan untuk mempertahankan, mengisolasi, atau bahkan meningkatkan konsentrasi senyawa-senyawa berharga ini dalam produk akhir.

Proses pengolahan konvensional, terutama yang melibatkan panas tinggi, sering kali dapat merusak komponen bioaktif yang sensitif. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional mendorong inovasi dalam teknologi pengolahan, seperti penggunaan teknik ekstraksi yang lebih lembut (misalnya ekstraksi fluida superkritis), enkapsulasi untuk melindungi senyawa bioaktif selama proses dan pencernaan, serta fermentasi yang terkontrol untuk menghasilkan metabolit bioaktif baru. Teknologi-teknologi ini memungkinkan penciptaan produk yang tidak hanya lezat dan aman, tetapi juga terstandarisasi kandungan komponen fungsionalnya.

Namun, pengembangan pangan fungsional juga dihadapkan pada tantangan yang tidak ringan. Klaim kesehatan yang dicantumkan pada label produk harus didasarkan pada bukti-bukti ilmiah yang kuat dan dapat dipertanggungjawabkan untuk menghindari penyesatan konsumen. Hal ini memerlukan investasi yang signifikan dalam penelitian dan uji klinis. Selain itu, regulasi mengenai pangan fungsional bervariasi di setiap negara,

menciptakan lanskap yang kompleks bagi produsen yang ingin memasuki pasar global. Stabilitas komponen bioaktif selama masa simpan produk juga menjadi tantangan teknis yang harus diatasi untuk memastikan produk tetap efektif hingga saat dikonsumsi.

Meskipun demikian, tren pangan fungsional diperkirakan akan terus bertumbuh, didorong oleh faktor-faktor seperti penuaan populasi, meningkatnya biaya perawatan kesehatan, dan keinginan konsumen untuk mengambil peran proaktif dalam menjaga kesehatan mereka. Bagi mahasiswa teknologi pangan, bidang ini menawarkan peluang karier yang menarik di bidang riset dan pengembangan produk. Kemampuan untuk mengidentifikasi potensi bioaktif dalam bahan baku lokal dan menerjemahkannya menjadi produk pangan fungsional yang inovatif, efektif, dan sesuai dengan regulasi akan menjadi keahlian yang sangat dicari di masa depan.

Subbab-subbab berikut akan memberikan definisi yang lebih formal dan klasifikasi pangan fungsional, mengeksplorasi lebih jauh potensi senyawa bioaktif yang terkandung dalam hasil pertanian dan perikanan, serta membahas tantangan-tantangan utama yang dihadapi dalam pengembangan produk di kategori ini. Pemahaman ini akan membuka wawasan Anda tentang bagaimana teknologi pangan dapat berkontribusi secara langsung pada peningkatan kesehatan dan kualitas hidup masyarakat.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan sebuah mobil standar. Fungsi dasarnya adalah sebagai alat transportasi untuk membawa

Anda dari satu tempat ke tempat lain, sama seperti fungsi dasar makanan untuk menyediakan energi. Produk pangan fungsional adalah seperti mobil yang telah *di-upgrade* dengan fitur-fitur canggih tambahan. Penambahan probiotik pada yoghurt adalah seperti memasang sistem pengereman ABS, memberikan manfaat keamanan tambahan (untuk pencernaan). Fortifikasi sereal dengan vitamin dan mineral adalah seperti menambahkan GPS dan sensor parkir, memberikan bantuan navigasi dan kemudahan (untuk pemenuhan gizi mikro). Mengembangkan minuman dengan ekstrak ginseng untuk meningkatkan stamina adalah seperti memasang mesin *turbocharged*, memberikan peningkatan performa spesifik. Setiap "fitur tambahan" ini dirancang untuk memberikan manfaat di luar fungsi dasar transportasi, sama seperti pangan fungsional yang memberikan manfaat kesehatan di luar nutrisi dasar.

1. Definisi dan Klasifikasi Pangan Fungsional

Secara umum, pangan fungsional adalah pangan yang karena kandungan komponen aktifnya dapat memberikan manfaat bagi kesehatan, di luar manfaat yang diberikan oleh zat-zat gizi yang secara umum terdapat di dalamnya. Tidak ada definisi tunggal yang diterima secara universal, namun benang merahnya adalah adanya klaim manfaat kesehatan yang didukung oleh bukti ilmiah. Pangan fungsional dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori. Berdasarkan asalnya, dapat dibedakan menjadi pangan fungsional alami (misalnya tomat yang kaya likopen) dan pangan fungsional hasil teknologi, di mana komponen bioaktif ditambahkan

(fortifikasi), dihilangkan (misalnya susu rendah lemak), atau ditingkatkan konsentrasinya (Lisboa et al., 2024).

Berdasarkan jenis komponen bioaktifnya, pangan fungsional dapat dikelompokkan menjadi produk yang mengandung probiotik (bakteri baik), prebiotik (makanan untuk bakteri baik), serat pangan, asam lemak esensial (Omega-3 dan Omega-6), antioksidan (polifenol dan karotenoid), vitamin, dan mineral. Klasifikasi lain dapat didasarkan pada target manfaat kesehatannya, seperti pangan untuk kesehatan pencernaan, kesehatan tulang, kesehatan jantung, atau manajemen berat badan. Penting untuk dicatat bahwa pangan fungsional tetaplah makanan, bukan obat, dan harus dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan yang seimbang.

2. Potensi Bioaktif Bahan Pertanian dan Perikanan

Sumber daya alam pertanian dan perikanan merupakan gudang senyawa bioaktif yang potensial. Dari sektor pertanian, buah-buahan dan sayuran berwarna cerah kaya akan antioksidan seperti karotenoid (pada wortel dan tomat) dan antosianin (pada beri dan ubi ungu). Kedelai dan produk olahannya mengandung isoflavon, sementara teh hijau dikenal dengan kandungan katekinnya. Bawang putih mengandung senyawa sulfur seperti allicin yang memiliki sifat antimikroba dan baik untuk kesehatan kardiovaskular (Fathi et al., 2022).

Dari sektor perikanan, potensi utamanya terletak pada asam lemak tak jenuh ganda Omega-3, terutama EPA dan DHA, yang melimpah pada ikan berlemak seperti salmon, makarel, dan sarden

(Ali et al., 2022). Selain itu, hasil samping industri perikanan juga sangat potensial. Tulang dan kulit ikan dapat diolah menjadi kolagen dan gelatin, yang bermanfaat untuk kesehatan sendi dan kulit (Rajabimashhadi et al., 2023). Cangkang krustasea (udang dan kepiting) merupakan sumber kitosan, sejenis serat yang dapat mengikat lemak. Rumput laut juga merupakan sumber yodium, fukoidan, dan berbagai mineral penting lainnya.

3. Tantangan Pengembangan Pangan Fungsional Modern

Meskipun potensinya besar, pengembangan pangan fungsional modern menghadapi berbagai tantangan. Tantangan utama adalah pembuktian ilmiah yang valid untuk setiap klaim kesehatan. Hal ini memerlukan studi *in vitro*, *in vivo*, dan uji klinis pada manusia yang mahal dan memakan waktu. Stabilitas komponen bioaktif selama pengolahan dan penyimpanan adalah tantangan teknis lainnya. Banyak senyawa bioaktif, seperti vitamin C atau antioksidan polifenol, bersifat tidak stabil terhadap panas, cahaya, dan oksigen, sehingga memerlukan teknologi pengolahan dan pengemasan khusus.

Tantangan lainnya adalah interaksi antara komponen bioaktif dengan matriks makanan, yang dapat memengaruhi bioavailabilitasnya (tingkat penyerapan dan penggunaan oleh tubuh). Dari sisi regulasi, harmonisasi peraturan mengenai klaim kesehatan di tingkat global masih menjadi isu, menyulitkan perdagangan internasional. Terakhir, edukasi konsumen menjadi kunci agar mereka memahami manfaat dan batasan dari pangan

fungsional serta tidak menganggapnya sebagai "peluru ajaib" yang dapat menggantikan gaya hidup sehat secara keseluruhan.

E. Etika dan Regulasi Industri Pangan

Dalam sebuah industri yang produknya masuk ke dalam tubuh setiap manusia, aspek etika dan regulasi memegang peranan yang fundamental dan tidak terpisahkan dari aspek teknologi dan bisnis. Operasional industri pangan tidak terjadi di dalam ruang hampa, melainkan diatur oleh serangkaian hukum, standar, dan norma etis yang kompleks. Tujuan utama dari kerangka kerja ini adalah untuk melindungi konsumen dari produk yang tidak aman dan praktik perdagangan yang tidak jujur, serta untuk memastikan persaingan yang adil di antara para pelaku industri. Kepatuhan terhadap regulasi bukan sekadar kewajiban hukum, tetapi juga merupakan cerminan dari komitmen etis sebuah perusahaan terhadap kesejahteraan konsumen dan masyarakat luas.

Regulasi pangan mencakup berbagai tingkatan, mulai dari standar internasional yang ditetapkan oleh badan seperti *Codex Alimentarius Commission* (sebuah badan gabungan FAO dan WHO), hingga peraturan nasional yang ditegakkan oleh lembaga pemerintah seperti Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) di Indonesia. Standar-standar ini mengatur hampir setiap aspek dari produk pangan, termasuk batas maksimum residu pestisida, tingkat cemaran mikroba yang diizinkan, penggunaan bahan tambahan pangan (pewarna, pengawet, dan pemanis), serta persyaratan pelabelan yang informatif dan tidak menyesatkan. Kepatuhan

terhadap standar ini sering kali menjadi prasyarat untuk dapat mengakses pasar, terutama pasar ekspor.

Di luar kepatuhan terhadap hukum tertulis, industri pangan juga dihadapkan pada tuntutan etika yang semakin meningkat. Konsumen modern semakin peduli tidak hanya dengan apa yang mereka makan, tetapi juga bagaimana makanan itu diproduksi. Isu-isu seperti kesejahteraan hewan (*animal welfare*), praktik perburuhan yang adil di sepanjang rantai pasok (*fair trade*), dan dampak lingkungan dari proses produksi menjadi pertimbangan penting dalam keputusan pembelian. Perusahaan yang mengabaikan isu-isu etis ini berisiko kehilangan kepercayaan dan loyalitas konsumen, sebuah kerugian yang sering kali lebih sulit dipulihkan daripada kerugian finansial.

Tanggung jawab sosial perusahaan (*Corporate Social Responsibility* atau CSR) dalam industri pangan juga mencakup komitmen untuk mengatasi masalah-masalah sosial yang lebih luas, seperti memerangi malnutrisi melalui produk yang terfortifikasi, mengurangi limbah pangan (*food waste*), dan mendukung keberlanjutan komunitas petani atau nelayan lokal. Tanggung jawab ini sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang dicanangkan oleh PBB, khususnya yang terkait dengan penghapusan kelaparan, kesehatan dan kesejahteraan, serta konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab.

Aspek legalitas lainnya yang krusial adalah perizinan usaha. Sebelum dapat beroperasi dan mengedarkan produknya, sebuah

industri pangan harus memperoleh serangkaian izin dari berbagai instansi pemerintah. Izin edar produk dari BPOM, misalnya, menandakan bahwa suatu produk telah dievaluasi dan dinyatakan aman, bermutu, dan bergizi. Proses perizinan ini, meskipun terkadang tampak birokratis, merupakan mekanisme kontrol penting untuk memastikan bahwa hanya produsen yang memenuhi standar yang dapat beroperasi, sehingga melindungi pasar dari produk-produk yang berisiko.

Bagi seorang profesional di bidang teknologi pangan, pemahaman terhadap lanskap etika dan regulasi ini sama pentingnya dengan penguasaan aspek teknis. Merancang sebuah produk baru tidak cukup hanya dengan formulasi yang lezat dan proses yang efisien. Produk tersebut juga harus aman, legal, dan diproduksi dengan cara yang dapat dipertanggungjawabkan secara etis. Kegagalan dalam mempertimbangkan aspek-aspek ini sejak tahap awal pengembangan dapat menyebabkan produk ditolak oleh regulator, tidak diterima oleh pasar, atau bahkan ditarik dari peredaran, yang mengakibatkan kerugian finansial dan reputasi yang besar.

Subbab-subbab berikut akan membahas lebih detail mengenai standar pangan di tingkat nasional dan internasional, mengeksplorasi dimensi tanggung jawab sosial yang relevan bagi industri pangan, dan menguraikan aspek-aspek legalitas terkait perizinan usaha. Pemahaman ini akan melengkapi pengetahuan teknis Anda dengan kesadaran akan konteks sosial dan hukum di

mana industri pangan beroperasi, membentuk Anda menjadi seorang profesional yang tidak hanya kompeten secara teknis tetapi juga bertanggung jawab.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan industri pangan sebagai industri konstruksi gedung pencakar langit. Teknologi pengolahan adalah ilmu rekayasa sipil yang memungkinkan pembangunan struktur yang tinggi dan efisien. Namun, setiap konstruksi harus tunduk pada "peraturan bangunan" (*building codes*) yang sangat ketat, yang setara dengan regulasi pangan. Peraturan ini menetapkan standar minimum untuk kekuatan material (keamanan bahan baku), sistem kelistrikan (proses produksi yang aman), jalur evakuasi kebakaran (sistem keamanan pangan), dan aksesibilitas bagi penyandang disabilitas (pelabelan yang jelas). Etika industri adalah seperti komitmen kontraktor untuk menggunakan bahan bangunan yang ramah lingkungan dan memastikan keselamatan kerja bagi para pekerjanya. Membangun gedung tanpa mematuhi regulasi dan etika tidak hanya ilegal dan berbahaya, tetapi juga akan menghasilkan struktur yang tidak akan pernah mendapatkan izin huni dan tidak akan dipercaya oleh publik.

1. Standar Nasional dan Internasional Pangan

Standar pangan adalah seperangkat kriteria yang harus dipenuhi oleh suatu produk pangan agar dapat diperdagangkan. Di tingkat internasional, badan yang paling berpengaruh adalah *Codex Alimentarius Commission*. Codex menetapkan standar, pedoman, dan kode praktik untuk berbagai produk dan proses, yang diadopsi

secara sukarela oleh negara-negara anggota, namun sering kali menjadi acuan dalam perdagangan internasional dan penyelesaian sengketa di bawah *WTO (World Trade Organization)*. Standar ini mencakup batas maksimum untuk aditif, kontaminan, dan residu, serta persyaratan higienis dan pelabelan (Wu & Hsiao, 2021).

Di tingkat nasional Indonesia, regulasi dan standar pangan utamanya diatur oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). BPOM bertanggung jawab atas pengawasan prapasar (penerbitan izin edar) dan pascapasar (inspeksi dan penindakan) untuk memastikan produk yang beredar memenuhi standar keamanan, mutu, dan gizi. SNI untuk produk pangan sebagian besar bersifat sukarela, namun dapat menjadi wajib jika terkait dengan aspek Keamanan, Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (K3L).

2. Tanggung Jawab Sosial Industri Pangan

Tanggung jawab sosial industri pangan melampaui sekadar menghasilkan laba dan mematuhi hukum. Ini adalah komitmen untuk beroperasi secara etis dan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan. Salah satu aspek utamanya adalah keberlanjutan lingkungan, yang mencakup upaya untuk mengurangi jejak karbon, menghemat penggunaan air, meminimalkan limbah produksi, dan menggunakan kemasan yang ramah lingkungan (Sultana et al., 2022). Dari sisi sosial, tanggung jawab ini dapat diwujudkan melalui praktik ketenagakerjaan yang adil, pemberdayaan komunitas lokal

(misalnya dengan bermitra dengan petani kecil), dan memastikan akses terhadap makanan bergizi bagi masyarakat luas.

Isu etis lainnya yang semakin mendapat perhatian adalah transparansi dan ketertelusuran (*traceability*) rantai pasok. Konsumen ingin tahu dari mana makanan mereka berasal dan bagaimana proses produksinya. Perusahaan yang dapat menyediakan informasi ini secara transparan cenderung mendapatkan kepercayaan konsumen yang lebih tinggi. Selain itu, pemasaran yang bertanggung jawab, terutama kepada anak-anak, dan tidak membuat klaim kesehatan yang berlebihan juga merupakan bagian penting dari etika industri pangan modern.

3. Aspek Legalitas Perizinan Usaha Pangan

Untuk dapat beroperasi secara legal di Indonesia, industri pengolahan pangan harus memiliki serangkaian perizinan. Izin mendasar adalah Nomor Induk Berusaha (NIB) yang diperoleh melalui sistem *Online Single Submission* (OSS). Tergantung pada skala usaha dan tingkat risiko produknya, perusahaan mungkin memerlukan Izin Usaha Industri (IUI) dan berbagai izin teknis lainnya. Izin yang paling krusial untuk produk pangan kemasan adalah Izin Edar dari BPOM, yang dikenal dengan nomor registrasi "BPOM RI MD" untuk produk dalam negeri atau "BPOM RI ML" untuk produk impor.

Untuk industri skala rumah tangga, terdapat perizinan yang lebih sederhana, yaitu Sertifikat Produksi Pangan Industri Rumah

Tangga (SPP-IRT) yang dikeluarkan oleh Dinas Kesehatan Kabupaten/Kota.

Selain itu, untuk produk yang diklaim halal, diperlukan Sertifikat Halal dari Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal (BPJPH) setelah melalui proses audit oleh Lembaga Pemeriksa Halal (LPH). Memenuhi semua persyaratan legalitas ini sangat penting untuk melindungi bisnis dari sanksi hukum dan memastikan produk dapat diterima di pasar yang lebih luas.

Rangkuman Bab

1. Teknologi pengolahan hasil pertanian dan perikanan adalah aplikasi ilmu dan rekayasa untuk mengubah bahan mentah menjadi produk bernilai tambah, awet, dan aman.
2. Produk nabati berciri khas kandungan air tinggi dan jaringan yang masih hidup pascapanen, sementara produk perikanan kaya protein dan lemak tak jenuh yang rentan rusak.
3. Kerusakan bahan pangan disebabkan oleh interaksi kompleks faktor fisik (memar dan suhu), kimia (oksidasi), biokimia (reaksi enzimatik), dan mikrobiologis (pertumbuhan bakteri, kapang, dan khamir).
4. Keamanan pangan adalah prioritas absolut, yang didasarkan pada penerapan higiene, sanitasi, dan *Good Manufacturing Practices (GMP)* untuk mengendalikan bahaya biologi, kimia, dan fisik.

5. Tren pangan fungsional didorong oleh permintaan konsumen akan produk yang memberikan manfaat kesehatan spesifik di luar nutrisi dasar, memanfaatkan komponen bioaktif dari bahan pangan.
6. Industri pangan beroperasi dalam kerangka regulasi dan etika yang ketat, meliputi standar produk (nasional dan internasional), tanggung jawab sosial, dan perizinan usaha yang wajib dipatuhi.
7. Kerangka kerja SIKLUS PANGAN (Sistem, Inovasi, Kualitas, Lingkungan, Utilisasi Sumber Daya) dapat digunakan sebagai alat analisis holistik dalam memahami setiap aspek teknologi pangan.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Bandingkan dan kontraskan tiga perbedaan karakteristik paling fundamental antara buah mangga dan ikan tongkol yang memengaruhi pemilihan teknologi pengolahannya. Jelaskan mengapa perbedaan tersebut signifikan.
2. Sebuah perusahaan rintisan ingin memproduksi keripik kentang. Dengan menggunakan konsep bahaya keamanan pangan (biologi, kimia, dan fisik), identifikasi tiga potensi bahaya spesifik yang paling mungkin terjadi pada lini produksi mereka dan usulkan satu tindakan pencegahan untuk setiap bahaya tersebut.

3. Jelaskan konsep "nilai tambah" dalam konteks pengolahan pangan. Berikan contoh satu komoditas pertanian lokal, dan uraikan bagaimana tiga jenis teknologi pengolahan yang berbeda dapat menciptakan tiga bentuk nilai tambah yang berbeda pula dari komoditas tersebut.
4. Mengapa *Good Manufacturing Practices (GMP)* dianggap sebagai program prasyarat (*prerequisite*) sebelum menerapkan sistem HACCP? Jelaskan hubungan antara keduanya dalam membangun sistem manajemen keamanan pangan yang komprehensif.
5. Pangan fungsional sering disebut sebagai pangan yang berada di antara makanan dan obat. Diskusikan pernyataan ini. Apa tantangan utama dari sisi regulasi dan pembuktian ilmiah yang dihadapi oleh produsen pangan fungsional?

Soal Pilihan Ganda

1. Reaksi pencokelatan yang terjadi pada permukaan apel setelah dipotong adalah contoh utama dari jenis kerusakan...
   a. Fisik akibat suhu
   b. Kimia akibat oksidasi nonenzimatik
   c. Biokimia akibat aktivitas enzim
   d. Mikrobiologis akibat pertumbuhan kapang

2. Manakah di antara karakteristik berikut yang membuat produk perikanan **sangat** rentan terhadap kerusakan oksidatif dan ketengikan?
   a. Kandungan air yang tinggi
   b. Kandungan protein yang mudah dicerna
   c. Kandungan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang tinggi
   d. pH daging yang mendekati netral
3. Praktik mencuci tangan oleh pekerja, penggunaan pakaian kerja yang bersih, dan desain peralatan yang mudah dibersihkan adalah bagian dari konsep yang lebih luas yang dikenal sebagai...
   a. Tanggung jawab sosial perusahaan
   b. Standar Nasional Indonesia (SNI)
   c. Higiene dan sanitasi
   d. Pangan fungsional
4. Sebuah perusahaan menambahkan bakteri *Lactobacillus casei* ke dalam produk minuman susu fermentasi untuk meningkatkan kesehatan pencernaan konsumen. Produk ini dapat diklasifikasikan sebagai...
   a. Pangan hasil rekayasa genetika
   b. Pangan dengan klaim nutrisi
   c. Pangan fungsional berbasis probiotik
   d. Pangan organik

5. Badan internasional yang menetapkan standar, pedoman, dan kode praktik pangan sebagai rujukan utama dalam perdagangan global adalah...
   a. *World Health Organization (WHO)*
   b. *Food and Agriculture Organization (FAO)*
   c. *World Trade Organization (WTO)*
   d. *Codex Alimentarius Commission*
6. Faktor utama yang menyebabkan buah-buahan dan sayuran segar tetap melakukan metabolisme dan respirasi setelah dipanen adalah karena...
   a. Jaringannya masih hidup
   b. Terkontaminasi oleh bakteri
   c. Kandungan gulanya tinggi
   d. Terpapar oleh cahaya matahari
7. Berikut ini yang merupakan contoh bahaya fisik dalam keamanan pangan adalah...
   a. Residu pestisida pada sayuran
   b. Racun aflatoksin dari jamur pada kacang
   c. Bakteri *Salmonella* pada telur
   d. Serpihan logam dari mesin penggiling

8. Kerusakan dingin (*chilling injury*) pada buah pisang yang disimpan di kulkas (suhu terlalu rendah) merupakan contoh dari kerusakan...
   a. Fisik
   b. Kimia
   c. Biokimia
   d. Mikrobiologis
9. Tujuan utama dari izin edar "BPOM RI MD" yang dikeluarkan oleh BPOM adalah untuk...
   a. Memastikan produk menggunakan bahan baku lokal
   b. Menjamin bahwa produk aman, bermutu, dan memenuhi standar sebelum diedarkan
   c. Memberikan insentif pajak bagi produsen pangan
   d. Menetapkan harga jual eceran tertinggi untuk produk pangan
10. Dalam kerangka SIKLUS PANGAN, analisis mengenai efisiensi penggunaan bahan baku dan energi dalam suatu proses pengolahan termasuk dalam lensa...
    a. Sistem
    b. Inovasi
    c. Kualitas
    d. Utilisasi Sumber Daya

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

Analisis Rantai Pasok Lokal

Kunjungi sebuah pasar tradisional atau supermarket di daerah Anda. Pilih satu jenis produk pertanian (misalnya cabai merah) dan satu jenis produk perikanan (misalnya ikan kembung segar). Amati kondisi produk tersebut. Identifikasi minimal tiga tanda-tanda kerusakan (fisik, kimia/biokimia, atau mikrobiologis) yang dapat Anda temukan. Berdasarkan pengamatan Anda, usulkan tiga perbaikan praktis dalam rantai penanganan pascapanen (mulai dari petani/nelayan hingga pedagang) yang dapat mengurangi tingkat kerusakan tersebut. Sajikan analisis Anda dalam bentuk laporan singkat (maksimal 2 halaman).

Desain Konsep Produk Fungsional

Berdasarkan potensi bahan baku lokal di Indonesia, rancanglah sebuah konsep produk pangan fungsional yang inovatif. Tentukan bahan baku utamanya, komponen bioaktif yang menjadi target, dan klaim kesehatan yang ingin diusulkan. Jelaskan secara singkat teknologi pengolahan kunci yang akan Anda gunakan untuk memastikan stabilitas komponen bioaktif tersebut. Uraikan juga tantangan regulasi dan pemasaran yang mungkin akan dihadapi produk Anda.

GLOSARIUM BAB

1. ***By-products***: Produk sampingan yang dihasilkan selama pengolahan produk utama, yang masih memiliki potensi nilai ekonomi.
2. ***Codex Alimentarius***: Kumpulan standar, pedoman, dan kode praktik pangan internasional yang diakui secara global.
3. ***Good Manufacturing Practices (GMP)***: Serangkaian prosedur dan praktik yang memastikan produk pangan diproduksi dan dikendalikan secara konsisten sesuai standar mutu dan keamanan.
4. **Aktivitas Air (*a_w*)**: Ukuran ketersediaan air dalam bahan pangan untuk pertumbuhan mikroorganisme; bukan sekadar kandungan air total.
5. **Bahaya Keamanan Pangan**: Agen biologis, kimia, atau fisik dalam makanan yang berpotensi menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan.
6. **Higiene**: Semua kondisi dan tindakan yang diperlukan untuk memastikan keamanan dan kelayakan pangan pada semua tahap rantai makanan.
7. **Keamanan Pangan (*Food Safety*)**: Jaminan bahwa pangan tidak akan membahayakan konsumen bila disiapkan dan/atau dimakan sesuai dengan penggunaannya.

8. **Kerusakan Pangan**: Setiap perubahan pada pangan yang membuatnya tidak dapat diterima oleh konsumen dari segi penampilan, rasa, tekstur, atau bau.
9. **Komponen Bioaktif**: Konstituen dalam makanan atau suplemen makanan, selain yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan gizi dasar, yang bertanggung jawab atas perubahan status kesehatan.
10. **Pangan Fungsional**: Pangan yang memberikan manfaat kesehatan di luar nutrisi dasar karena kandungan komponen bioaktifnya.
11. ***Perishable***: Sifat bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan atau pembusukan dalam waktu singkat.
12. **Sanitasi**: Penciptaan dan pemeliharaan kondisi higienis dan sehat, terutama terkait dengan fasilitas dan lingkungan pengolahan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish, A Review. *Foods, 11*(22), 3669.

Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, P. F., Riccio, G., Rizzo, C., & De Pascale, D. (2021). Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. *Marine Drugs, 19*(2), 116.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Kaur, R., & Watson, J. A. (2024). A Scoping Review of Postharvest Losses, Supply Chain Management, and Technology: Implications for Produce Quality in Developing Countries. *Journal of the ASABE*.

Lisboa, H., Pasquali, M. B., Anjos, A. I. M. D., Sarinho, A., De Melo, E. D., Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A. (2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability, 16*(18), 8223.

M. A., Sri, K., Lokesh, M., Deepthi, N., & Malleswari, M. (2024). Postharvest Management Techniques for Improved Shelf

Life of Horticultural Crops: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(1), 59–72.

Mafe, A. N., Edo, G., Makia, R., Joshua, O. A., Akpoghelie, P. O., Gaaz, T., Jikah, A. N., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ahmed, D. S., Essaghah, A. E., & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances, 5*, 100852.

Montojo, U. M., Tadifa, G. C., Chiuco, M. B., Yleaña, J., Tanangonan, I., & Banicod, R. J. (2025). Policy brief mitigating postharvest losses in the high seas: strategic interventions for sustainable tuna fisheries. *Frontiers in Marine Science, 12*. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1602869

Rajabimashhadi, Z., Gallo, N., Salvatore, L., & Lionetto, F. (2023). Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges. *Polymers, 15*(3), 544.

Singh, S., & Thakur, R. (2024). Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology, 207*, 112694.

Sultana, A., Kathuria, A., & Gaikwad, K. K. (2022). Metal–organic frameworks for active food packaging. A review. *Environmental Chemistry Letters, 20*, 1479–1495.

Waqar, M., Sajjad, N., Ullah, Q., Vasanthkumar, S., Ahmed, F., Panpipat, W., Aluko, R., Kaur, L., Chaijan, M., & Ageru, T. A. (2025). Fish By-Products Utilization in Food and Health: Extraction Technologies, Bioactive, and Sustainability Challenges. *Food Science & Nutrition, 13*(1).

Wu, J., & Hsiao, H. (2021). Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. *Food Control, 120*, 107501.

Yang, Z., Xu, J., Yang, L., & Zhang, X. (2022). Optimized Dynamic Monitoring and Quality Management System for Post-Harvest Matsutake of Different Preservation Packaging in Cold Chain. *Foods, 11*(17), 2646.

BAB 2
TEKNIK PENANGANAN PASCAPANEN

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan tahapan-tahapan kritis dalam penanganan awal hasil pertanian dan perikanan.
2. Menganalisis tujuan dan metode pembersihan, sortasi, serta pengkelasan mutu bahan baku.
3. Memahami prinsip kerja dan pentingnya fasilitas penyimpanan dingin (*cold storage*).
4. Menguraikan konsep dan tantangan dalam manajemen rantai dingin (*cold chain management*).
5. Menerapkan prinsip FIFO (*First In, First Out*) dalam konteks manajemen stok pangan.
6. Mengevaluasi dampak dari setiap tahapan penanganan pascapanen terhadap kualitas akhir produk.
7. Mengidentifikasi titik-titik kritis tempat kehilangan pascapanen (*post-harvest losses*) paling sering terjadi.

Peta Konsep

Bab ini memetakan perjalanan krusial suatu komoditas setelah dipanen. Perjalanan dimulai dari **Penanganan Awal**, yang terbagi menjadi dua jalur utama: satu untuk **Hasil Pertanian** (pembersihan, sortasi, dan pengemasan primer) dan satu lagi untuk **Hasil Perikanan** (pendinginan cepat dan pencucian). Kedua jalur ini kemudian bertemu pada tahap **Penggunaan Fasilitas Penyimpanan**, yang menekankan pada pengendalian suhu, kelembapan, dan atmosfer. Konsep penyimpanan ini diperluas menjadi sebuah sistem logistik terpadu yang disebut **Manajemen Rantai Dingin**. Akhirnya, seluruh proses ini dikelola secara efisien melalui **Manajemen Stok dan Inventaris** untuk memastikan kualitas, keamanan, dan minimalisasi kerugian.

Pendahuluan

Momen ketika buah dipetik dari pohonnya atau ikan diangkat dari jaringnya bukanlah akhir dari sebuah proses produksi, melainkan awal dari sebuah perlombaan genting melawan waktu. Sejak terpisah dari sumber kehidupannya, setiap produk pertanian dan perikanan memulai serangkaian proses degradasi biokimia dan mikrobiologis yang tidak terhindarkan, seperti yang telah dibahas pada Bab 1. Upaya untuk memperlambat laju kerusakan inilah yang menjadi inti dari disiplin ilmu penanganan pascapanen. Penanganan pascapanen adalah serangkaian perlakuan yang diterapkan pada komoditas segera setelah panen untuk melindungi kualitas,

memperpanjang masa simpan, dan mempersiapkannya untuk tahap pengolahan selanjutnya atau penjualan langsung.

Kegagalan dalam melakukan penanganan pascapanen yang tepat merupakan salah satu penyebab utama kehilangan pangan (*food loss*) di seluruh dunia. Bayangkan sebuah truk pengangkut tomat yang mengalami kerusakan mekanis pada bagian pendinginnya; dalam hitungan jam, seluruh muatan yang bernilai jutaan rupiah dapat berubah menjadi tumpukan produk busuk yang tidak layak jual. Hal ini menunjukkan betapa krusialnya setiap langkah, mulai dari cara memanen, membersihkan, mendinginkan, hingga mengemas. Penanganan pascapanen yang efektif bukan hanya soal mengurangi kerugian, tetapi juga merupakan fondasi untuk menghasilkan produk olahan berkualitas tinggi. Bahan baku yang sudah terlanjur rusak tidak akan pernah dapat diolah menjadi produk akhir yang premium, sehebat apa pun teknologi pengolahan yang digunakan.

Fokus utama dalam bab ini adalah intervensi teknologi dan manajerial yang terjadi sebelum bahan baku memasuki pabrik pengolahan utama. Tahapan ini sering kali dianggap sepele, tetapi pada kenyataannya memegang peranan yang sangat menentukan. Kita akan menjelajahi bagaimana teknik-teknik sederhana seperti pencucian dan sortasi dapat secara signifikan mengurangi beban mikroba awal. Kita juga akan mendalami pentingnya "rantai dingin", sebuah sistem terintegrasi yang menjaga produk pada suhu rendah dari titik panen hingga ke tangan konsumen. Rantai dingin ini dapat

diibaratkan sebagai sistem penunjang kehidupan (*life support system*) bagi produk segar.

Dengan menerapkan kerangka SIKLUS PANGAN, penanganan pascapanen merupakan manifestasi nyata dari pentingnya sebuah **Sistem**. Setiap tahapan saling terkait dan kegagalan di satu titik dapat merusak keseluruhan sistem. Inovasi di bidang ini terus berkembang, mulai dari sensor suhu pintar untuk *monitoring* rantai dingin hingga teknologi pengemasan atmosfer termodifikasi di tingkat petani. Dari lensa **Kualitas**, setiap tindakan penanganan pascapanen secara langsung bertujuan untuk mempertahankan atribut sensorik dan nutrisi. Aspek **Lingkungan** dan **Utilisasi Sumber Daya** juga sangat relevan, di mana pengurangan kehilangan pascapanen berarti lebih sedikit sumber daya, seperti air, tanah, dan energi, yang terbuang.

Bab ini akan menguraikan secara sistematis berbagai teknik penanganan pascapanen, dimulai dari perlakuan awal yang berbeda untuk komoditas pertanian dan perikanan, dilanjutkan dengan teknologi penyimpanan, hingga manajemen logistik dan inventaris. Pemahaman yang mendalam terhadap materi ini akan membekali Anda dengan pengetahuan untuk merancang dan mengelola sistem pascapanen yang efisien, yang merupakan langkah pertama yang krusial dalam rantai nilai industri pengolahan pangan secara keseluruhan.

A. Penanganan Awal Hasil Pertanian

Penanganan awal hasil pertanian merupakan fondasi yang menentukan kualitas dan umur simpan produk, baik untuk konsumsi segar maupun sebagai bahan baku industri. Tahapan ini dimulai segera setelah produk dipanen, ketika kondisi produk berada pada titik paling rentan. Tujuan utama dari semua aktivitas dalam fase ini adalah menghilangkan kontaminan dari lapangan, memisahkan produk yang tidak memenuhi standar, dan mempersiapkan produk untuk transportasi atau penyimpanan dengan cara yang dapat meminimalkan kerusakan lebih lanjut. Setiap langkah, mulai dari pembersihan, sortasi, hingga pengkelasan, dirancang untuk memperlambat laju respirasi, mengurangi kehilangan air, dan mencegah infeksi oleh mikroorganisme patogen atau pembusuk.

Proses penanganan awal ini harus dilakukan secepat dan selembut mungkin. Penundaan antara waktu panen dan perlakuan awal, terutama pendinginan awal (*pre-cooling*), dapat menyebabkan penurunan kualitas yang tidak dapat diperbaiki. Demikian pula, penanganan yang kasar dapat menyebabkan memar, luka, atau kerusakan mekanis lainnya yang tidak hanya merusak penampilan, tetapi juga menjadi pintu masuk bagi mikroba pembusuk. Oleh karena itu, investasi dalam pelatihan tenaga kerja dan penggunaan peralatan yang tepat pada fase ini sangat penting untuk menekan tingkat kehilangan pascapanen, yang sering kali mencapai puncaknya pada tahap ini (Kaur & Watson, 2024).

Setiap komoditas memiliki persyaratan penanganan yang spesifik. Sayuran daun yang rapuh seperti selada memerlukan penanganan yang jauh lebih hati-hati dibandingkan dengan umbi-umbian seperti kentang. Buah-buahan klimaterik, yaitu buah yang terus matang setelah dipanen, seperti tomat atau pisang mungkin memerlukan perlakuan untuk mengontrol laju pematangannya, sementara buah nonklimaterik, yaitu buah yang tidak matang lagi setelah dipanen, seperti jeruk harus dipanen pada tingkat kematangan optimal. Pemahaman terhadap fisiologi pascapanen setiap komoditas menjadi kunci dalam menentukan prosedur penanganan awal yang paling efektif.

Langkah-langkah yang akan dibahas, seperti pembersihan, sortasi, dan pengkelasan, bukanlah aktivitas yang terisolasi. Ketiganya merupakan bagian dari suatu sistem terintegrasi yang bertujuan untuk menciptakan keseragaman dan kualitas pada lot bahan baku. Keseragaman ini sangat penting untuk efisiensi proses pengolahan selanjutnya. Misalnya, buah dengan ukuran yang seragam akan lebih efisien dalam proses pengupasan mekanis atau pengolahan termal karena laju transfer panas akan lebih merata.

Selain itu, tahap penanganan awal juga merupakan titik kontrol kritis pertama dalam sistem keamanan pangan. Dengan menghilangkan tanah, batu, dan produk yang busuk, kita secara signifikan mengurangi risiko kontaminasi fisik dan mikrobiologis pada tahap-tahap selanjutnya. Pengemasan primer yang tepat juga berperan penting dalam melindungi produk dari kontaminasi silang

dan kerusakan fisik selama distribusi dari lahan pertanian ke fasilitas penyimpanan atau pengolahan.

Efektivitas penanganan awal ini sering kali menjadi penentu profitabilitas bagi petani dan keseluruhan rantai pasok. Produk yang telah disortir dan dikelaskan dengan baik akan mendapatkan harga yang lebih tinggi di pasar. Sebaliknya, lot produk dengan kualitas yang beragam dan tingkat kerusakan yang tinggi akan dinilai rendah atau bahkan ditolak oleh pembeli industri.

Dengan demikian, penguasaan teknik penanganan awal hasil pertanian merupakan kompetensi esensial. Hal ini merupakan kombinasi antara pemahaman ilmiah tentang fisiologi pascapanen dan penerapan praktik-praktik terbaik di lapangan untuk memastikan bahwa kualitas premium yang dihasilkan melalui proses budi daya yang baik tidak hilang sia-sia sebelum mencapai konsumen atau pabrik pengolahan.

Analogi/Contoh Kasus

Proses penanganan awal hasil pertanian dapat diibaratkan seperti unit triase di ruang gawat darurat sebuah rumah sakit. Ketika "pasien" (hasil panen) tiba dari "lokasi kejadian" (lahan pertanian), mereka datang dalam berbagai kondisi. Langkah pertama adalah "pembersihan" luka awal (menghilangkan kotoran). Selanjutnya, perawat melakukan "sortasi", yaitu memisahkan pasien dengan luka ringan (kualitas baik) dari yang mengalami cedera parah (produk busuk atau rusak) untuk mencegah "penyebaran infeksi" (kontaminasi). Kemudian, dokter melakukan "pengkelasan" atau

grading, yaitu mendiagnosis tingkat keparahan cedera untuk menentukan penanganan selanjutnya (produk *grade* A, B, atau C). Akhirnya, pasien distabilkan dan diberi "perawatan primer" (pengemasan) sebelum dipindahkan ke ruang perawatan intensif (penyimpanan dingin) atau ruang operasi (pabrik pengolahan).

Tanpa sistem triase yang efektif ini, rumah sakit akan kacau dan banyak nyawa (kualitas produk) tidak akan terselamatkan.

1. Pembersihan dan Sortasi Bahan Mentah

Pembersihan adalah langkah pertama yang bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang tidak diinginkan dari permukaan produk, seperti tanah, debu, residu pestisida, dan benda asing lainnya. Metode pembersihan bervariasi tergantung pada jenis dan ketahanan komoditas. Untuk produk yang kokoh seperti umbi-umbian, dapat digunakan pencucian dengan semprotan air bertekanan tinggi atau dalam drum berputar. Namun, untuk produk yang rapuh seperti buah beri atau sayuran daun, harus digunakan metode yang lebih lembut, seperti perendaman dalam air bersih atau pencucian dengan semprotan halus (M. A. et al., 2024). Penggunaan air yang mengandung disinfektan ringan, seperti klorin pada konsentrasi yang diizinkan, sering kali diterapkan untuk mengurangi beban mikroba awal.

Setelah dibersihkan, proses dilanjutkan dengan sortasi. Sortasi adalah kegiatan memisahkan produk yang tidak memenuhi kriteria kualitas minimum dari produk yang baik. Hal ini termasuk membuang produk yang busuk, berjamur, terlalu matang, memar

parah, atau diserang hama. Proses ini sangat penting karena satu produk yang busuk dapat melepaskan gas etilen dan spora jamur yang dapat mempercepat kerusakan pada produk sehat di sekitarnya selama penyimpanan (Singh & Thakur, 2024). Sortasi dapat dilakukan secara manual oleh pekerja terlatih atau menggunakan teknologi modern seperti mesin sortasi optik yang menggunakan kamera dan sensor untuk mendeteksi cacat berdasarkan warna, bentuk, atau bahkan komposisi kimia.

2. Proses Pengkelasan (*Grading*) Berdasarkan Mutu

Setelah produk yang tidak layak dibuang melalui sortasi, produk yang baik kemudian dikelompokkan berdasarkan mutu melalui proses pengkelasan atau *grading*. Pengkelasan adalah proses mengategorikan produk ke dalam beberapa kelas atau tingkatan kualitas berdasarkan atribut-atribut tertentu seperti ukuran, bentuk, warna, kematangan, dan ada atau tidaknya cacat minor. Tujuannya adalah untuk menciptakan lot produk yang seragam, yang pada gilirannya akan meningkatkan nilai jual dan memenuhi ekspektasi pasar yang spesifik.

Sebagai contoh, apel dapat dikelaskan menjadi *Grade* A (ukuran besar, warna seragam, bebas cacat), *Grade* B (ukuran sedang, sedikit cacat warna), dan *Grade* C (untuk diolah menjadi jus).

Standar pengkelasan ini dapat ditetapkan oleh pemerintah, seperti SNI di Indonesia, atau berdasarkan spesifikasi yang diminta oleh pembeli industri. Pengkelasan yang konsisten membangun

kepercayaan dan reputasi bagi produsen. Proses ini dapat dilakukan secara manual, yang sering kali bersifat subjektif, atau menggunakan peralatan mekanis dan otomatis. Mesin *grader* ukuran, misalnya, dapat memisahkan buah atau sayuran berdasarkan diameternya secara cepat dan akurat. Keseragaman yang dihasilkan dari proses *grading* ini sangat memfasilitasi proses otomatisasi pada tahap pengolahan selanjutnya.

3. Teknik Pengemasan Primer untuk Transportasi

Pengemasan primer adalah langkah penting untuk melindungi produk setelah dibersihkan dan dikelaskan, terutama selama proses transportasi dari pusat pengumpul ke pasar atau pabrik. Fungsi utama kemasan primer adalah untuk menampung produk dalam unit yang mudah ditangani, melindunginya dari kerusakan mekanis (getaran, benturan, dan tekanan), serta mengurangi kehilangan air (kelayuan). Pemilihan bahan kemasan harus disesuaikan dengan karakteristik produk. Untuk produk yang menghasilkan panas respirasi tinggi, kemasan harus memiliki ventilasi yang cukup untuk memungkinkan sirkulasi udara dan pelepasan panas (Yang et al., 2022).

Contoh kemasan primer yang umum digunakan antara lain peti kayu, keranjang bambu (untuk pasar tradisional), serta kotak karton bergelombang (*corrugated fiberboard*) dan peti plastik yang dapat digunakan kembali (*reusable plastic crates* atau RPC) untuk rantai pasok modern. RPC semakin populer karena lebih tahan lama, mudah dibersihkan, dan dapat ditumpuk secara stabil sehingga

mengurangi kerusakan produk selama transportasi. Untuk beberapa jenis produk, pengemasan atmosfer termodifikasi (*Modified Atmosphere Packaging* atau MAP) sederhana juga dapat diterapkan pada tahap ini untuk memperpanjang umur simpan dengan mengubah komposisi gas di dalam kemasan.

Jendela Industri: Inovasi Peti Plastik untuk Cabai di Jawa Tengah

Di sentra produksi cabai di Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, para petani secara tradisional menggunakan karung goni untuk transportasi. Praktik ini menyebabkan tingkat kerusakan fisik dan pembusukan cabai mencapai 20–30% setibanya di pasar induk. Pada tahun 2022, sebuah koperasi petani lokal bekerja sama dengan perusahaan rintisan agriteknologi untuk memperkenalkan penggunaan Peti Plastik Berventilasi (RPC). Peti ini dirancang dengan dinding yang kokoh untuk mencegah tekanan pada cabai di bagian bawah serta memiliki lubang ventilasi yang optimal untuk mengeluarkan panas hasil respirasi. Hasilnya, tingkat kerusakan cabai selama transportasi berhasil ditekan hingga di bawah 5%. Inovasi sederhana ini tidak hanya meningkatkan pendapatan petani karena lebih banyak produk yang dapat dijual dengan kualitas premium, tetapi juga menjadi contoh nyata penerapan prinsip penanganan pascapanen yang tepat di tingkat akar rumput.

B. Penanganan Awal Hasil Perikanan

Berbeda dengan hasil pertanian yang sebagian besar masih hidup dan berespirasi setelah panen, ikan dan produk perikanan lainnya

mati sesaat setelah ditangkap. Kematian ini memicu serangkaian reaksi degradasi yang sangat cepat, menjadikan produk perikanan sebagai salah satu komoditas pangan yang paling mudah rusak. Laju kerusakan yang tinggi ini disebabkan oleh kombinasi tiga faktor utama: aktivitas enzim autolitik (enzim dari dalam tubuh ikan itu sendiri), oksidasi lemak, dan pertumbuhan mikroorganisme yang sangat cepat, terutama bakteri psikrofilik (penyuka dingin) yang sudah ada di permukaan kulit, insang, dan saluran pencernaan ikan. Oleh karena itu, penanganan awal hasil perikanan adalah perlombaan yang lebih ketat melawan waktu, di mana setiap menit penundaan dapat berarti penurunan kualitas yang signifikan.

Prinsip utama yang melandasi seluruh teknik penanganan awal hasil perikanan adalah penurunan suhu secepat mungkin dan sedekat mungkin ke titik beku air (0 °C), tanpa membekukan produk. Penurunan suhu yang drastis ini, yang dikenal sebagai pendinginan cepat atau *chilling*, bertujuan untuk menghambat laju ketiga mekanisme kerusakan tersebut secara simultan. Suhu rendah secara dramatis memperlambat reaksi enzimatik dan kimia serta secara signifikan menghambat pertumbuhan sebagian besar bakteri pembusuk. Penanganan yang higienis, terutama pencucian untuk menghilangkan lendir dan kotoran yang kaya akan bakteri, juga memegang peranan yang tidak kalah penting.

Penanganan awal ini idealnya dimulai segera setelah ikan diangkat ke atas kapal penangkap. Fasilitas di atas kapal, seperti ketersediaan es yang cukup, air laut bersih, dan area kerja yang

higienis, sangat menentukan kualitas akhir ikan yang didaratkan. Ikan yang ditangani dengan buruk di laut tidak akan pernah dapat dipulihkan kualitasnya meskipun didinginkan dengan sempurna di darat. Hal ini menekankan pentingnya pengetahuan dan keterampilan penanganan pascapanen bagi para nelayan itu sendiri.

Fillet atau bagian ikan lainnya memerlukan penanganan yang lebih hati-hati lagi. Proses pemotongan dan pemisahan daging dari tulang (*filleting*) memperluas area permukaan yang terpapar udara dan kontaminasi sehingga harus dilakukan dalam kondisi yang sangat bersih dan dingin. Setiap langkah, mulai dari metode pendinginan, cara mencuci, hingga penanganan fillet, harus dirancang untuk menjaga suhu tetap rendah dan meminimalkan kontaminasi silang.

Teknik-teknik yang akan dibahas dalam subbab ini merupakan standar emas dalam industri perikanan modern. Penerapannya secara konsisten adalah kunci untuk dapat menyediakan ikan segar berkualitas tinggi ke pasar yang jauh serta menghasilkan bahan baku yang prima untuk industri pengolahan lebih lanjut seperti pengalengan, pembekuan, atau pengasapan. Mengabaikan prinsip-prinsip ini hampir pasti akan menghasilkan produk dengan mutu rendah, umur simpan yang sangat pendek, dan potensi risiko keamanan pangan yang tinggi akibat pembentukan senyawa seperti histamin pada beberapa jenis ikan.

Oleh karena itu, penguasaan teknik penanganan awal hasil perikanan menuntut kecepatan, kebersihan, dan, yang terpenting,

pemahaman mendalam tentang pentingnya pengendalian suhu. Hal ini merupakan fondasi dari seluruh rantai nilai produk perikanan, di mana investasi dalam es dan praktik higienis akan memberikan imbal hasil yang besar dalam bentuk kualitas, keamanan, dan nilai ekonomi produk.

Analogi/Contoh Kasus

Penanganan awal ikan segar dapat diibaratkan seperti tim paramedis yang menangani korban serangan jantung. "Serangan jantung" bagi ikan adalah momen ketika ikan diangkat dari air dan berhenti bernapas. Sejak saat itu, "kerusakan organ" (degradasi jaringan) dimulai dengan sangat cepat. Tindakan pertama dan paling kritis yang dilakukan paramedis adalah memberikan "kompresi dada dan bantuan napas" untuk menjaga sirkulasi dan oksigenasi, yang dalam kasus ikan setara dengan pendinginan cepat menggunakan es. Tindakan ini tidak menyembuhkan, tetapi secara dramatis memperlambat kerusakan lebih lanjut dan "membeli waktu". Selanjutnya, paramedis akan "membersihkan luka" (pencucian ikan) dan segera membawa pasien ke "ruang gawat darurat" (fasilitas pendaratan ikan) sambil terus menjaga kestabilan kondisinya. Setiap detik penundaan dalam penanganan awal ini dapat berakibat fatal atau menyebabkan kerusakan permanen, sama seperti kualitas ikan yang akan menurun drastis jika pendinginan tidak dilakukan segera.

1. Teknik Pendinginan Segera (*Chilling*) di Kapal

Pendinginan segera (*chilling*) adalah tindakan paling krusial dalam penanganan ikan segar dan harus dilakukan sesegera mungkin setelah penangkapan, idealnya di atas kapal. Tujuannya adalah menurunkan suhu tubuh ikan dari suhu lingkungan ke suhu mendekati 0 °C. Metode yang paling umum dan efektif adalah dengan menggunakan es. Ikan dicampur dengan serpihan es (*iced*) atau dimasukkan ke dalam campuran air laut dan es yang disebut *chilled seawater* (CSW) atau *refrigerated seawater* (RSW). Penggunaan es tidak hanya mendinginkan, tetapi juga menjaga kelembapan ikan, mencegah dehidrasi, dan, saat meleleh, airnya membantu membersihkan lendir dan bakteri dari permukaan ikan (Ali et al., 2022).

Rasio es dan ikan yang tepat sangat penting, umumnya berkisar antara 1:1 hingga 1:2 (berat es:berat ikan), tergantung pada suhu awal ikan, suhu lingkungan, dan durasi perjalanan. Es yang digunakan harus dibuat dari air bersih yang memenuhi standar air minum untuk menghindari kontaminasi. Penanganan yang baik melibatkan penyusunan ikan dan es secara berlapis-lapis di dalam palka atau wadah berinsulasi untuk memastikan pendinginan yang merata dan cepat di seluruh bagian ikan.

2. Metode Pencucian dan Pembersihan Ikan

Sebelum atau selama proses pendinginan, ikan harus dicuci bersih untuk menghilangkan lendir, darah, kotoran, dan sisa isi perut yang merupakan sumber utama bakteri. Pencucian harus menggunakan

air bersih dan dingin, seperti air laut bersih atau air tawar yang telah didinginkan. Proses ini membantu mengurangi jumlah mikroorganisme awal pada permukaan ikan secara signifikan, yang pada gilirannya akan memperpanjang masa simpannya. Untuk beberapa jenis ikan, proses pengeluaran isi perut (*evisceration* atau *gutting*) juga dilakukan di atas kapal (Coppola et al., 2021).

Pengeluaran isi perut penting karena saluran pencernaan mengandung banyak bakteri dan enzim pencernaan yang sangat kuat. Jika dibiarkan, enzim-enzim ini dapat mulai mencerna dinding perut dan menyebar ke daging ikan (proses autolisis), menyebabkan tekstur menjadi sangat lunak dan busuk dari dalam. Setelah isi perut dikeluarkan, rongga perut harus dicuci bersih untuk menghilangkan sisa darah dan organ dalam.

3. Penanganan Fillet dan Bagian Ikan Lainnya

Penanganan fillet atau bagian ikan lainnya, misalnya potongan *steak*, memerlukan tingkat kebersihan yang lebih tinggi karena proses pemotongan menciptakan area permukaan baru yang rentan terhadap kontaminasi. Semua proses, mulai dari pemisahan kepala, pengeluaran isi perut, hingga pemisahan daging dari tulang (*filleting*), harus dilakukan dengan cepat di lingkungan yang dingin dan higienis. Pisau, talenan, dan permukaan kerja harus selalu bersih dan secara berkala disanitasi. Pekerja harus mengenakan sarung tangan dan pakaian kerja yang bersih.

Setelah dipotong, fillet tidak boleh dicuci dengan perendaman dalam air tawar dalam waktu lama karena dapat menyebabkan

kehilangan komponen larut air (nutrisi dan rasa) serta penyerapan air yang berlebihan oleh daging. Pencucian cepat dengan air dingin yang mengalir lebih disarankan. Fillet kemudian harus segera dikeringkan permukaannya dengan lembut, dikemas, dan didinginkan kembali dengan es. Untuk menjaga kualitas, fillet sebaiknya tidak berkontak langsung dengan es; biasanya diletakkan lapisan plastik tipis sebagai pemisah untuk mencegah pemudaran warna dan kerusakan tekstur akibat kontak langsung.

C. Penggunaan Fasilitas Penyimpanan

Setelah melalui penanganan awal yang krusial, baik hasil pertanian maupun perikanan memerlukan lingkungan yang terkondisi untuk mempertahankan kualitasnya selama periode penyimpanan sebelum diolah lebih lanjut atau didistribusikan ke pasar. Di sinilah fasilitas penyimpanan, khususnya penyimpanan dingin (*cold storage*), memainkan peranan vital. Fasilitas penyimpanan yang dirancang dengan baik berfungsi sebagai "penjaga" kualitas, yang tugasnya adalah menciptakan dan memelihara kondisi lingkungan optimal untuk memperlambat proses degradasi yang telah kita diskusikan sebelumnya. Prinsip dasarnya adalah mengendalikan tiga parameter lingkungan utama: suhu, kelembapan relatif (*Relative Humidity*, RH), dan, dalam beberapa kasus, komposisi atmosfer gas.

Suhu adalah parameter yang paling fundamental. Setiap kenaikan suhu, bahkan hanya beberapa derajat, dapat meningkatkan laju respirasi (pada produk nabati) dan pertumbuhan mikroba secara eksponensial. Oleh karena itu, menjaga suhu yang

rendah dan stabil adalah fungsi utama dari sebuah gudang pendingin. Namun, suhu bukanlah satu-satunya faktor. Kelembapan relatif juga sangat penting. Kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan produk kehilangan air, mengakibatkan penyusutan berat, kelayuan pada sayuran, dan pengeringan permukaan pada ikan. Sebaliknya, kelembapan yang terlalu tinggi dapat mendorong pertumbuhan jamur dan bakteri pada permukaan produk.

Untuk komoditas tertentu yang sangat sensitif, pengendalian suhu dan kelembapan saja tidak cukup. Diperlukan teknologi yang lebih canggih seperti penyimpanan dengan atmosfer terkendali (*Controlled Atmosphere* atau *CA storage*). Teknologi ini memodifikasi komposisi udara di dalam ruang penyimpanan, biasanya dengan menurunkan kadar oksigen dan meningkatkan kadar karbon dioksida. Kondisi atmosfer yang dimodifikasi ini secara signifikan dapat memperlambat laju respirasi dan proses pematangan pada buah-buahan seperti apel, memungkinkan penyimpanan selama berbulan-bulan tanpa kehilangan kualitas yang berarti.

Desain dan manajemen fasilitas penyimpanan juga merupakan faktor kunci. Ruang penyimpanan harus memiliki insulasi yang baik untuk efisiensi energi, sistem pendingin yang andal, serta sirkulasi udara yang memadai untuk memastikan suhu yang merata di seluruh ruangan. Penataan produk di dalam gudang juga harus memperhatikan aliran udara dan menerapkan sistem rotasi stok

yang baik, seperti yang akan dibahas pada subbab manajemen inventaris.

Penggunaan fasilitas penyimpanan yang tepat memungkinkan industri pangan untuk mengatasi tantangan musiman. Hasil panen yang melimpah pada satu musim dapat disimpan dan dilepaskan ke pasar atau pabrik secara bertahap sehingga menstabilkan pasokan dan harga sepanjang tahun. Hal ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam perencanaan produksi dan pemasaran.

Subbab-subbab berikut akan membahas secara lebih detail mengenai konsep dan operasional gudang penyimpanan dingin, pentingnya pengaturan kelembapan dan suhu, serta teknologi pengendalian atmosfer. Pemahaman ini akan memberikan wawasan tentang bagaimana rekayasa lingkungan dapat digunakan sebagai alat yang ampuh untuk memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas bahan pangan segar.

Analogi/Contoh Kasus

Fasilitas penyimpanan dingin bagi produk segar dapat diibaratkan seperti unit perawatan intensif (*Intensive Care Unit* atau ICU) bagi pasien dalam kondisi kritis. Di dalam ICU, tujuannya bukan untuk menyembuhkan penyakit secara instan, melainkan untuk menstabilkan kondisi pasien dan menjaga fungsi-fungsi vital tubuhnya agar tidak memburuk. Suhu ruangan diatur dengan presisi (kontrol suhu). Pasien diberi cairan infus untuk mencegah dehidrasi (kontrol kelembapan). Beberapa pasien mungkin memerlukan ventilator untuk membantu pernapasan dengan campuran gas yang

diatur (penyimpanan atmosfer terkendali). Semua parameter vital pasien terus dipantau 24/7. Sama seperti di ICU, di dalam *cold storage*, kondisi "pasien" (produk pangan) terus dipantau dan dijaga agar proses "penuaan" dan "kerusakan" dapat diperlambat semaksimal mungkin, memberinya kesempatan hidup (umur simpan) yang lebih panjang.

1. Konsep Gudang Penyimpanan Dingin (*Cold Storage*)

Gudang penyimpanan dingin, atau *cold storage*, adalah sebuah ruangan atau bangunan berinsulasi yang dilengkapi dengan sistem refrigerasi untuk menjaga suhu internal pada tingkat yang rendah dan stabil. Konsep dasarnya adalah memindahkan panas dari dalam ruang penyimpanan ke luar sehingga suhu di dalam tetap dingin. Sistem refrigerasi ini bekerja berdasarkan siklus kompresi uap, yang melibatkan komponen utama seperti kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Evaporator adalah bagian yang menyerap panas dari dalam ruangan, sementara kondensor membuang panas tersebut ke lingkungan luar.

Efisiensi sebuah *cold storage* sangat bergantung pada kualitas insulasi pada dinding, langit-langit, dan lantai untuk mencegah masuknya panas dari luar. Pintu juga harus dirancang untuk meminimalkan pertukaran udara saat dibuka dan ditutup. Suhu operasionalnya bervariasi tergantung pada jenis produk yang disimpan. Untuk sebagian besar buah dan sayuran segar serta ikan dingin, suhu dipertahankan sedikit di atas titik beku, biasanya antara 0 °C hingga 5 °C. Untuk produk beku, suhu penyimpanan jauh lebih

rendah, biasanya -18 °C atau lebih dingin, yang akan dibahas lebih lanjut di Bab 4.

2. Pengaturan Kelembapan dan Suhu Ruangan

Pengaturan suhu yang presisi dan stabil adalah kunci utama. Fluktuasi suhu, bahkan dalam rentang yang kecil, dapat merusak kualitas produk. Fluktuasi ini dapat menyebabkan kondensasi pada permukaan produk saat suhu naik, yang kemudian mendorong pertumbuhan mikroba. Sistem kontrol termostatik modern digunakan untuk memonitor dan mengatur kerja sistem refrigerasi secara otomatis guna menjaga suhu tetap dalam rentang yang diinginkan. Sirkulasi udara yang baik di dalam ruangan, biasanya dibantu oleh kipas, juga penting untuk mencegah terbentuknya "titik-titik panas" (*hot spots*) dan memastikan suhu merata di seluruh tumpukan produk (Yang et al., 2022).

Selain suhu, kelembapan relatif (RH) adalah parameter kritis kedua. Sebagian besar produk segar memerlukan RH yang tinggi, sekitar 85–95%, untuk mencegah kehilangan air melalui transpirasi atau evaporasi. Kehilangan air tidak hanya berarti kehilangan berat jual, tetapi juga menyebabkan produk menjadi layu, keriput, dan kehilangan kerenyahannya. Sistem *cold storage* modern sering kali dilengkapi dengan *humidifier* atau sistem penyemprotan kabut air untuk menjaga tingkat RH yang diinginkan. Namun, untuk produk tertentu seperti bawang bombai atau bawang putih, diperlukan RH yang lebih rendah untuk mencegah pertumbuhan tunas dan pembusukan.

3. Pengendalian Atmosfer untuk Memperpanjang Masa Simpan

Penyimpanan dengan atmosfer terkendali (*Controlled Atmosphere* atau *CA storage*) adalah teknologi canggih yang digunakan untuk produk-produk hortikultura tertentu dengan nilai ekonomi tinggi, seperti apel, pir, dan kiwi. Prinsipnya adalah memodifikasi atmosfer di dalam ruang penyimpanan yang kedap udara untuk menekan laju respirasi produk secara drastis, jauh melampaui apa yang dapat dicapai hanya dengan pendinginan. Hal ini dilakukan dengan menurunkan konsentrasi oksigen (O_2) dari sekitar 21% (kadar normal di udara) menjadi 1–3% dan meningkatkan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) hingga 2–5% (Singh & Thakur, 2024).

Kadar gas yang rendah oksigen dan tinggi karbon dioksida ini secara efektif "menidurkan" produk, memperlambat proses pematangan, pelunakan, perubahan warna, dan degradasi nutrisi. Ruang CA memerlukan konstruksi yang sangat kedap serta dilengkapi dengan sistem generator nitrogen (untuk menurunkan kadar O_2), *scrubber* CO_2 (untuk membuang CO_2 berlebih dari respirasi produk), dan sistem kontrol serta monitor gas yang canggih. Meskipun biaya investasi dan operasionalnya tinggi, teknologi CA dapat memperpanjang masa simpan apel dari beberapa minggu menjadi hampir satu tahun, memungkinkan ketersediaan produk sepanjang tahun.

D. Manajemen Rantai Dingin (*Cold Chain Management*)

Konsep penyimpanan dingin yang telah dibahas sebelumnya menjadi jauh lebih kuat ketika diperluas dari satu titik statis (gudang) menjadi sebuah sistem dinamis yang terintegrasi di seluruh rantai pasok. Inilah esensi dari manajemen rantai dingin (*cold chain management*). Rantai dingin merujuk pada serangkaian aktivitas dan fasilitas berpendingin yang bekerja secara sinergis untuk menjaga produk pangan, terutama yang mudah rusak, dalam rentang suhu yang direkomendasikan, mulai dari titik produksi hingga titik konsumsi. Ini adalah sebuah "jalan tol suhu rendah" yang memastikan kualitas dan keamanan produk tetap terjaga selama perjalanannya yang sering kali panjang dan kompleks.

Sebuah rantai dingin terdiri dari beberapa mata rantai yang saling berhubungan: pendinginan awal (*pre-cooling*) di dekat lahan pertanian, transportasi berpendingin (truk, kontainer, atau kargo udara), gudang penyimpanan dingin di pusat distribusi, lemari pajangan berpendingin di tingkat ritel, hingga kulkas di rumah konsumen. Kekuatan sebuah rantai dingin ditentukan oleh mata rantai terlemahnya. Jika suhu tidak terjaga dengan baik di salah satu titik saja, misalnya saat proses bongkar muat dari truk ke gudang, maka seluruh upaya yang telah dilakukan di titik-titik sebelumnya dapat menjadi sia-sia. Pelanggaran suhu ini, yang dikenal sebagai *temperature abuse*, dapat memutus rantai dan memicu percepatan kerusakan produk.

Manajemen rantai dingin bukan hanya masalah teknologi pendingin, tetapi juga merupakan tantangan logistik, koordinasi, dan informasi. Diperlukan perencanaan yang cermat untuk memastikan transisi yang mulus antarmata rantai dengan waktu paparan terhadap suhu lingkungan yang seminimal mungkin. Dokumentasi dan pemantauan suhu di seluruh perjalanan menjadi sangat penting untuk verifikasi dan penjaminan mutu. Dahulu, hal ini dilakukan dengan termometer manual, tetapi kini teknologi modern seperti *data logger* suhu dan sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan suhu secara *real-time* (Yang et al., 2022).

Penerapan rantai dingin yang efektif memberikan banyak manfaat. Manfaat paling nyata adalah pengurangan kehilangan dan pemborosan pangan, peningkatan keamanan pangan dengan menghambat pertumbuhan patogen, serta kemampuan untuk menjangkau pasar yang lebih jauh, termasuk pasar ekspor. Hal ini memungkinkan konsumen di perkotaan untuk menikmati produk segar dari daerah pedesaan yang jauh, atau bahkan dari negara lain, dengan kualitas yang masih prima.

Namun, implementasi rantai dingin di negara-negara berkembang seperti Indonesia menghadapi banyak kendala. Tantangan tersebut meliputi biaya investasi yang tinggi untuk infrastruktur dan transportasi berpendingin, pasokan listrik yang tidak selalu andal di daerah terpencil, serta kurangnya pengetahuan dan kesadaran di antara para pelaku rantai pasok kecil (petani,

nelayan, dan pedagang). Mengatasi kendala-kendala teknis dan ekonomi ini merupakan kunci untuk membuka potensi penuh sektor pertanian dan perikanan nasional.

Subbab-subbab berikut akan mengupas lebih dalam tentang pentingnya menjaga kontinuitas rantai dingin, teknologi untuk memonitor suhu selama distribusi, serta kendala-kendala yang sering dihadapi dalam operasionalnya. Pemahaman ini akan menegaskan bahwa menjaga kualitas produk pascapanen adalah sebuah tanggung jawab bersama yang melibatkan semua pihak di sepanjang rantai pasok.

Analogi/Contoh Kasus

Manajemen rantai dingin dapat diibaratkan seperti proses estafet obor Olimpiade. "Obor" adalah kualitas premium produk, dan "api" yang menyala adalah kesegarannya. Setiap "pelari" dalam estafet (petani, sopir truk, operator gudang, dan pramuniaga ritel) harus menjaga agar api tetap menyala terang selama ia memegang obor. Jika satu pelari terjatuh atau berlari terlalu lambat (terjadi *temperature abuse*), api bisa meredup atau bahkan padam. Tidak peduli seberapa cepat pelari sebelum atau sesudahnya, api yang sudah padam tidak dapat dinyalakan kembali. Diperlukan koordinasi yang sempurna dan transisi yang mulus di setiap "zona pergantian" (proses bongkar muat) untuk memastikan obor kualitas sampai di "stadion akhir" (meja konsumen) dengan api yang masih menyala cemerlang. *Data logger* suhu berfungsi seperti kamera yang

merekam seluruh perjalanan setiap pelari untuk memastikan tidak ada kecurangan atau kegagalan di tengah jalan.

1. Pentingnya Menjaga Rantai Dingin dari Hulu ke Hilir

Kontinuitas adalah kata kunci dalam rantai dingin. Menjaga suhu produk tetap rendah secara konsisten dari hulu (petani/nelayan) hingga hilir (konsumen) adalah hal yang mutlak. Setiap fluktuasi suhu ke atas akan mempercepat laju reaksi biokimia dan pertumbuhan mikroba. Efek kerusakan ini bersifat kumulatif dan tidak dapat dibalik (*irreversible*). Artinya, kualitas yang sudah hilang akibat kenaikan suhu di satu titik tidak dapat dipulihkan kembali meskipun produk didinginkan kembali di titik selanjutnya. Oleh karena itu, setiap pelaku dalam rantai pasok memiliki tanggung jawab untuk menjaga integritas rantai dingin.

Sebagai contoh, sayuran yang sudah didinginkan di fasilitas petani harus segera dimuat ke dalam truk berpendingin, bukan dibiarkan di area pemuatan yang panas selama berjam-jam. Setibanya di pusat distribusi, proses bongkar muat harus dilakukan secepat mungkin di dok pemuatan (*loading dock*) yang juga dikondisikan suhunya. Menjaga kesinambungan ini adalah tantangan logistik terbesar, terutama di negara tropis dengan suhu lingkungan yang tinggi.

2. Monitoring Suhu Selama Distribusi

Untuk memastikan integritas rantai dingin, pemantauan suhu secara terus-menerus selama distribusi adalah praktik yang

esensial. Teknologi untuk melakukan hal ini telah berkembang pesat. *Data logger* suhu adalah perangkat kecil yang ditempatkan bersama produk di dalam kemasan atau kontainer. Perangkat ini merekam data suhu pada interval waktu yang telah ditentukan, misalnya setiap 15 menit, selama seluruh perjalanan. Setibanya di tujuan, data dapat diunduh ke komputer untuk melihat riwayat suhu perjalanan dan mengidentifikasi apakah terjadi penyimpangan dari rentang yang dipersyaratkan (Wu & Hsiao, 2021).

Inovasi yang lebih canggih melibatkan penggunaan sensor nirkabel dan teknologi GPS yang terhubung ke *Internet of Things* (IoT). Sistem ini tidak hanya merekam suhu, tetapi juga mengirimkan data secara *real-time* ke *cloud*, memungkinkan manajer logistik untuk memantau kondisi kargo dari jarak jauh. Jika suhu mulai naik mendekati ambang batas berbahaya, sistem dapat mengirimkan peringatan dini ke ponsel manajer atau pengemudi sehingga tindakan korektif dapat segera diambil sebelum kerusakan signifikan terjadi (Yang et al., 2022).

3. Kendala Teknis dalam Operasional Rantai Dingin

Meskipun konsepnya sederhana, operasional rantai dingin di lapangan menghadapi banyak kendala teknis. Salah satu yang utama adalah biaya investasi dan operasional yang tinggi. Truk dan kontainer berpendingin jauh lebih mahal untuk dibeli dan dirawat daripada transportasi biasa. Konsumsi bahan bakar untuk menjalankan unit pendingin juga menambah biaya logistik secara signifikan (Kaur & Watson, 2024). Di banyak daerah, ketersediaan

infrastruktur pendukung seperti pasokan listrik yang stabil untuk *cold storage* dan bengkel perawatan unit pendingin masih terbatas.

Kendala lain adalah kurangnya standardisasi peralatan dan prosedur di antara berbagai penyedia layanan logistik. Hal ini dapat menyebabkan masalah kompatibilitas dan inefisiensi. Faktor manusia juga memainkan peran besar. Kurangnya pelatihan dan disiplin pada pekerja bongkar muat atau pengemudi dalam mengikuti SOP, misalnya tidak mematikan unit pendingin untuk menghemat bahan bakar atau membiarkan pintu kontainer terbuka terlalu lama, merupakan penyebab umum kegagalan rantai dingin. Mengatasi kendala-kendala ini memerlukan kombinasi antara investasi teknologi, pengembangan infrastruktur, dan peningkatan sumber daya manusia.

E. Manajemen Stok dan Inventaris

Setelah produk tiba dengan selamat di fasilitas penyimpanan, tantangan berikutnya adalah mengelolanya secara efisien selama berada di gudang. Manajemen stok dan inventaris dalam konteks produk pangan segar adalah disiplin yang bertujuan untuk memastikan bahwa produk yang disimpan dapat dikeluarkan pada waktu dan kondisi yang tepat untuk memaksimalkan kualitas dan meminimalkan kerugian. Hal ini bukan sekadar aktivitas pencatatan stok, melainkan sebuah sistem strategis yang menyeimbangkan antara ketersediaan produk untuk memenuhi permintaan dengan risiko kerusakan akibat penyimpanan yang terlalu lama. Mengingat

sifat produk yang mudah rusak, setiap hari yang dihabiskan di gudang akan mengurangi sisa umur simpannya.

Prinsip yang paling fundamental dalam manajemen inventaris pangan adalah rotasi stok. Produk tidak boleh dibiarkan diam di gudang dalam waktu yang tidak terbatas. Harus ada aliran produk yang teratur, di mana stok yang lebih lama harus digunakan atau dijual terlebih dahulu sebelum stok yang lebih baru. Konsep ini penting untuk mencegah situasi di mana produk yang baru datang terus-menerus diletakkan di depan, sementara produk yang lebih lama tersembunyi di belakang dan akhirnya terlupakan hingga menjadi busuk.

Manajemen stok yang baik juga berkaitan erat dengan pengendalian susut atau *shrinkage*. Susut adalah kerugian inventaris yang terjadi karena berbagai sebab, termasuk kerusakan atau pembusukan, kehilangan air (penyusutan berat), pencurian, atau kesalahan administrasi. Dengan memantau tingkat susut secara cermat, manajemen dapat mengidentifikasi masalah dalam sistem penyimpanan atau penanganan dan mengambil tindakan perbaikan. Misalnya, jika tingkat susut untuk produk selada sangat tinggi, hal ini mungkin mengindikasikan bahwa suhu penyimpanan tidak cukup dingin atau kelembapannya terlalu rendah.

Di era digital, manajemen inventaris semakin didukung oleh teknologi. Sistem Manajemen Gudang (*Warehouse Management System* atau WMS) berbasis perangkat lunak dapat melacak setiap palet atau kotak produk yang masuk dan keluar dari gudang.

Dengan menggunakan *barcode* atau *QR code*, setiap item dapat diidentifikasi secara unik, mencatat tanggal kedatangan, lokasi penyimpanan, dan tanggal kedaluwarsa jika ada. Sistem ini memungkinkan visibilitas stok secara *real-time*, memfasilitasi rotasi stok yang efisien, dan menghasilkan laporan analitis untuk membantu pengambilan keputusan.

Pada akhirnya, manajemen stok dan inventaris adalah tentang visibilitas dan kontrol. Tanpa mengetahui secara pasti apa yang Anda miliki, di mana lokasinya, dan berapa usianya, mustahil untuk mengelola aliran produk secara efisien. Dalam bisnis dengan margin tipis dan produk yang berpacu dengan waktu seperti industri pangan, manajemen inventaris yang efektif dapat menjadi faktor penentu antara keuntungan dan kerugian.

Subbab-subbab berikut akan mengelaborasi sistem rotasi stok FIFO yang fundamental, membahas strategi untuk mengendalikan susut, dan menyoroti pentingnya pelaporan data inventaris yang akurat dan berkala. Pemahaman ini akan melengkapi pengetahuan Anda tentang aspek teknis penyimpanan dengan aspek manajerial yang sama pentingnya.

Analogi/Contoh Kasus

Mengelola inventaris produk segar di gudang penyimpanan dingin ibarat menjadi seorang pustakawan di perpustakaan yang semua bukunya perlahan-lahan akan "rusak" atau "memudar" seiring waktu. Sistem FIFO adalah seperti aturan di mana pustakawan harus meminjamkan buku yang paling lama berada di rak terlebih

dahulu, bukan buku yang baru datang, untuk memastikan semua buku memiliki kesempatan untuk dibaca sebelum kualitas cetakannya menurun. Pengendalian susut adalah seperti proses pemeriksaan rutin untuk menemukan buku yang halamannya sobek atau berjamur (produk rusak) dan segera menariknya dari rak agar tidak merusak buku lain di sekitarnya. Sistem WMS dengan *barcode* adalah seperti katalog digital perpustakaan yang canggih, yang memungkinkan pustakawan untuk mengetahui lokasi persis setiap buku, kapan buku itu masuk, dan buku mana yang harus segera dikeluarkan dari rak hanya dengan beberapa kali klik. Tanpa manajemen yang baik, perpustakaan akan penuh dengan buku-buku usang dan tidak terbaca.

1. Sistem FIFO (*First In, First Out*) dalam Pergudangan

FIFO, atau *First In, First Out*, adalah prinsip dasar manajemen inventaris di mana unit produk pertama yang masuk ke dalam gudang adalah unit produk pertama yang harus keluar. Untuk produk pangan yang memiliki umur simpan terbatas, penerapan sistem ini adalah suatu keharusan. Tujuannya adalah untuk memastikan rotasi stok yang tepat sehingga produk tidak disimpan melebihi umur simpan efektifnya, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas atau bahkan pembusukan. Pelanggaran terhadap prinsip FIFO adalah penyebab umum pemborosan pangan di tingkat penyimpanan (Kaur & Watson, 2024).

Untuk menerapkan FIFO secara efektif, diperlukan tata letak gudang dan sistem penandaan yang mendukung. Rak penyimpanan

harus dirancang agar mudah diakses dari kedua sisi (satu sisi untuk memasukkan barang, sisi lain untuk mengeluarkan) atau setidaknya memungkinkan operator untuk dengan mudah mengambil stok yang paling belakang. Setiap palet atau lot produk yang masuk harus diberi label yang jelas dengan tanggal kedatangan atau tanggal produksi. Sistem WMS modern secara otomatis akan mengarahkan operator *forklift* untuk mengambil palet tertua ketika ada permintaan barang keluar.

2. Pengendalian Susut (*Shrinkage*) Pascapanen

Susut (*shrinkage*) adalah selisih antara jumlah inventaris yang tercatat di pembukuan dengan jumlah inventaris fisik yang sebenarnya ada. Dalam industri pangan, susut dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Susut fisik meliputi kehilangan berat akibat dehidrasi atau evaporasi serta produk yang harus dibuang karena rusak, busuk, atau kedaluwarsa. Selain itu, ada juga susut administratif akibat kesalahan pencatatan atau kehilangan akibat pencurian. Mengendalikan susut adalah kunci untuk menjaga profitabilitas.

Strategi pengendalian susut meliputi optimalisasi kondisi penyimpanan (suhu dan kelembapan yang tepat) untuk meminimalkan kerusakan, penanganan produk yang hati-hati untuk mengurangi kerusakan mekanis, serta penerapan sistem keamanan dan kontrol akses yang baik. Melakukan penghitungan stok fisik secara berkala (*cycle counting*) dan membandingkannya dengan data di sistem adalah praktik penting untuk mengidentifikasi adanya

selisih dan menyelidiki penyebabnya. Menganalisis data susut berdasarkan jenis produk atau lokasi penyimpanan juga dapat memberikan wawasan berharga untuk perbaikan proses.

3. Pelaporan Data Inventaris Berkala

Pelaporan data inventaris yang akurat dan tepat waktu adalah tulang punggung dari manajemen stok yang baik. Laporan ini memberikan visibilitas kepada manajer mengenai kondisi stok saat ini, yang sangat penting untuk pengambilan keputusan. Laporan inventaris yang umum meliputi laporan tingkat stok (*stock on hand*), yang menunjukkan jumlah setiap item produk yang tersedia; laporan usia stok (*inventory aging report*), yang mengategorikan stok berdasarkan berapa lama sudah disimpan dan sangat berguna untuk memantau kepatuhan FIFO; serta laporan perputaran inventaris (*inventory turnover*), yang mengukur seberapa cepat stok terjual atau digunakan.

Laporan-laporan ini membantu manajer dalam merencanakan pembelian bahan baku, menjadwalkan produksi, dan mengidentifikasi produk yang pergerakannya lambat (*slow-moving*) yang berisiko menjadi kedaluwarsa. Dengan data yang akurat, perusahaan dapat menghindari kondisi kehabisan stok (*stockout*) yang dapat mengecewakan pelanggan, sekaligus mencegah kondisi kelebihan stok (*overstock*) yang meningkatkan biaya penyimpanan dan risiko susut. Pelaporan yang andal memungkinkan manajemen untuk beralih dari pendekatan reaktif menjadi proaktif dalam mengelola aset inventaris mereka.

Rangkuman Bab

1. Penanganan pascapanen adalah serangkaian perlakuan krusial setelah panen untuk memperlambat laju kerusakan dan mempertahankan kualitas produk.
2. Penanganan awal hasil pertanian meliputi pembersihan, sortasi (membuang produk cacat), dan pengkelasan (mengelompokkan berdasarkan mutu) untuk menciptakan keseragaman dan mengurangi kontaminasi.
3. Untuk hasil perikanan, penanganan awal yang paling kritis adalah pendinginan segera (*chilling*) dengan es di atas kapal untuk menghambat aktivitas enzim, oksidasi, dan pertumbuhan mikroba.
4. Fasilitas penyimpanan dingin (*cold storage*) menggunakan sistem refrigerasi untuk mengontrol suhu dan kelembapan, sementara teknologi *Controlled Atmosphere* (CA) memodifikasi komposisi gas untuk memperpanjang umur simpan lebih lanjut.
5. Manajemen rantai dingin (*cold chain*) adalah sistem terintegrasi yang memastikan suhu produk tetap terjaga secara konsisten di seluruh mata rantai pasok, dari hulu hingga hilir.
6. Manajemen stok yang efektif di gudang mengandalkan prinsip rotasi stok FIFO (*First In, First Out*) untuk mencegah produk kedaluwarsa dan meminimalkan susut (*shrinkage*).
7. *Monitoring* suhu selama distribusi menggunakan *data logger* dan pelaporan inventaris yang akurat merupakan komponen

manajerial penting dalam sistem penanganan pascapanen modern.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan mengapa penanganan awal untuk ikan segar yang baru ditangkap harus memprioritaskan penurunan suhu, sementara penanganan awal untuk buah tomat mungkin lebih fokus pada sortasi dan pengkelasan. Kaitkan jawaban Anda dengan perbedaan fundamental mekanisme kerusakan pada kedua komoditas tersebut.
2. Sebuah perusahaan logistik mengalami masalah ketika kontainer berisi sayuran brokoli sering kali tiba di tujuan dengan kualitas yang sudah menurun, meskipun suhu di dalam kontainer tercatat stabil. Analisis dua parameter lingkungan selain suhu di dalam fasilitas penyimpanan atau kontainer yang mungkin diabaikan dan jelaskan bagaimana kedua parameter tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas brokoli.
3. Uraikan konsep rantai dingin dan jelaskan mengapa pelanggaran suhu di satu titik (misalnya, saat bongkar muat) dapat merusak seluruh upaya penanganan sebelumnya. Gunakan istilah "efek kumulatif" dan *irreversible* dalam penjelasan Anda.
4. Bandingkan dan kontraskan antara proses sortasi dan pengkelasan (*grading*). Apa tujuan utama dari masing-masing

proses dan mengapa keduanya penting baik untuk pasar segar maupun untuk industri pengolahan?

5. Jelaskan prinsip kerja FIFO. Mengapa sistem ini sangat kritikal untuk diterapkan di gudang penyimpanan bahan pangan, dan apa konsekuensi jika sebuah perusahaan secara konsisten menerapkan sistem LIFO (*Last In, First Out*) untuk produk seperti susu pasteurisasi?

Soal Pilihan Ganda

1. Tindakan paling kritis yang harus segera dilakukan pada ikan setelah ditangkap untuk menghambat laju pembusukan adalah...
   a. Pengeluaran isi perut
   b. Pencucian dengan air laut
   c. Pendinginan cepat dengan es
   d. Pemisahan kepala dan sirip
2. Tujuan utama dari proses pengkelasan (*grading*) pada buah-buahan adalah untuk...
   a. Menghilangkan kotoran dan residu pestisida dari permukaan buah
   b. Membuang buah yang busuk atau rusak parah dari lot produk
   c. Mengelompokkan buah ke dalam kategori mutu yang seragam berdasarkan ukuran, warna, dan bentuk
   d. Mengemas buah dalam peti untuk melindunginya selama transportasi

3. Teknologi penyimpanan yang memodifikasi komposisi gas (menurunkan O_2 dan menaikkan CO_2) untuk menekan laju respirasi produk secara drastis disebut...

   a. *Cold Storage* (CS)
   b. *Vacuum Cooling*
   c. *Controlled Atmosphere (CA) Storage*
   d. *Blast Freezing*

4. Prinsip manajemen inventaris yang menyatakan bahwa barang yang pertama masuk harus menjadi barang yang pertama keluar adalah...

   a. LIFO (*Last In, First Out*)
   b. JIT (*Just In Time*)
   c. HIFO (*Highest In, First Out*)
   d. FIFO (*First In, First Out*)

5. Perangkat elektronik kecil yang ditempatkan bersama kargo untuk merekam riwayat suhu selama perjalanan disebut...

   a. Termostat
   b. *Data logger*
   c. *Humidifier*
   d. *GPS tracker*

6. Salah satu alasan utama mengapa kelembapan relatif (RH) yang tinggi (85–95%) perlu dijaga di dalam ruang penyimpanan buah dan sayur adalah untuk...

   a. Mencegah pertumbuhan jamur

b. Mempercepat proses pematangan
c. Mengurangi kehilangan air dan kelayuan
d. Menurunkan laju respirasi

7. Proses memisahkan produk yang tidak memenuhi standar minimum (misalnya busuk, memar parah) dari produk yang baik disebut...

a. Pembersihan
b. Sortasi
c. Pengkelasan
d. Pengemasan

8. Berikut ini yang merupakan mata rantai terlemah dan paling sering menyebabkan kegagalan dalam rantai dingin adalah...

a. Penyimpanan jangka panjang di gudang utama
b. Transportasi antarnegara dengan kontainer berpendingin
c. Proses bongkar muat dari truk ke gudang atau ritel
d. Penyimpanan di kulkas konsumen

9. Kehilangan berat pada produk segar selama penyimpanan yang disebabkan oleh penguapan air disebut...

a. Respirasi
b. Oksidasi
c. Susut atau *shrinkage*
d. Autolisis

10. Penggunaan Peti Plastik Berventilasi (RPC) lebih unggul dibandingkan karung goni untuk transportasi cabai karena...

a. Melindungi dari tekanan dan menyediakan sirkulasi udara
b. Membuat cabai menjadi lebih pedas
c. Lebih murah dan lebih ringan
d. Menyerap kelembapan berlebih

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

Audit Rantai Dingin Sederhana

Anda ditugaskan untuk mengaudit rantai dingin produk ayam potong segar dari sebuah rumah potong unggas (RPU) ke sebuah supermarket. Rancang sebuah *checklist* yang berisi minimal 10 titik pemeriksaan kritis yang akan Anda evaluasi di sepanjang rantai tersebut. Titik pemeriksaan harus mencakup aspek suhu, kebersihan, dan waktu di setiap tahapan (RPU, transportasi, area penerimaan barang supermarket, gudang pendingin supermarket, dan lemari pajangan). Untuk setiap titik, sebutkan standar ideal yang seharusnya dipenuhi.

Perancangan Tata Letak Gudang FIFO

Buatlah sketsa sederhana tata letak sebuah gudang penyimpanan dingin kecil, misalnya untuk produk yogurt, yang dirancang untuk memfasilitasi penerapan sistem FIFO secara ketat. Berikan label pada area penerimaan barang, area pengeluaran barang, dan alur pergerakan produk. Berikan penjelasan singkat mengapa desain Anda dapat mencegah praktik LIFO dan meminimalkan risiko produk kedaluwarsa.

GLOSARIUM BAB

1. ***Chilling Injury***: Kerusakan fisiologis pada beberapa jenis buah dan sayuran (terutama tropis) yang disebabkan oleh paparan suhu rendah di atas titik beku.
2. ***Data Logger***: Perangkat elektronik yang merekam data, seperti suhu atau kelembapan, dari waktu ke waktu.
3. **FIFO (*First In, First Out*)**: Sebuah metode manajemen inventaris di mana aset atau barang yang pertama kali diperoleh atau diproduksi akan dijual atau digunakan terlebih dahulu.
4. ***Grading* (Pengkelasan)**: Proses pemilahan produk pangan ke dalam dua atau lebih tingkatan mutu berdasarkan standar yang ditetapkan.
5. **Pascapanen**: Periode yang dimulai setelah komoditas pertanian atau perikanan dipanen hingga saat dikonsumsi atau diolah.
6. **Pendinginan Cepat (*Chilling*)**: Proses penurunan suhu produk pangan secara cepat hingga mendekati titik beku air (0 °C) untuk memperlambat kerusakan.
7. **Penyimpanan Atmosfer Terkendali (*Controlled Atmosphere Storage*)**: Teknologi penyimpanan yang secara aktif mengontrol dan memelihara komposisi gas (O_2 dan CO_2) di dalam ruang penyimpanan.

8. **Rantai Dingin (*Cold Chain*)**: Rantai pasok yang suhunya terkontrol, mencakup produksi, penyimpanan, dan distribusi produk yang sensitif terhadap suhu.
9. **Sortasi**: Kegiatan memisahkan bahan yang tidak diinginkan atau tidak memenuhi syarat dari bahan baku utama.
10. **Susut (*Shrinkage*)**: Kehilangan inventaris karena faktor-faktor seperti pembusukan, dehidrasi, kerusakan, atau pencurian.
11. ***Temperature Abuse***: Istilah yang digunakan ketika produk pangan terpapar pada suhu di luar rentang yang direkomendasikan untuk keamanan dan kualitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish, A Review. *Foods, 11*(22), 3669.

Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, P. F., Riccio, G., Rizzo, C., & De Pascale, D. (2021). Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. *Marine Drugs, 19*(2), 116.

Kaur, R., & Watson, J. A. (2024). A Scoping Review of Postharvest Losses, Supply Chain Management, and Technology: Implications for Produce Quality in Developing Countries. *Journal of the ASABE*.

M. A., Sri, K., Lokesh, M., Deepthi, N., & Malleswari, M. (2024). Postharvest Management Techniques for Improved Shelf Life of Horticultural Crops: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(1), 59–72.

Nugraha, A. S., Hidayat, F., & Cahyono, B. (2023). The role of post-harvest handling on the quality of robusta coffee beans in Pagaralam, South Sumatra. *Jurnal Agrotek Tropika, 11*(2), 317–324.

Rahman, M. S., Al-Mahrouqi, A. I., & Al-Habsi, N. A. (2021). Post-harvest handling and processing of fish and fish products. In *Seafood Processing: Technology, Quality and Safety*. Wiley.

Rodríguez-Bermúdez, R., García-Díez, A. M., & González-Gómez, L. (2022). A review on computer vision for the inspection and quality control of fruits. *Food and Bioprocess Technology, 15*, 22–44.

Singh, S., & Thakur, R. (2024). Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology, 207*, 112694.

Workneh, T. S., & Emire, S. A. (2023). Cold chain management in the food industry. In *Advances in Food Processing and Technology*. Elsevier.

Wu, J., & Hsiao, H. (2021). Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. *Food Control, 120*, 107501.

Yang, Z., Xu, J., Yang, L., & Zhang, X. (2022). Optimized Dynamic Monitoring and Quality Management System for Post-Harvest Matsutake of Different Preservation Packaging in Cold Chain. *Foods, 11*(17), 2646.

BAB 3
TEKNOLOGI PENGECILAN UKURAN DAN PEMISAHAN

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip-prinsip mekanis di balik proses pengecilan ukuran.
2. Mengidentifikasi dan membedakan jenis-jenis peralatan pengecilan ukuran untuk bahan nabati dan hewani.
3. Menganalisis berbagai teknik pemisahan mekanis, seperti pengayakan, penyaringan, dan sentrifugasi.
4. Memberikan contoh aplikasi spesifik dari proses pemisahan dalam industri pengolahan hasil pertanian dan perikanan.
5. Memahami prinsip dasar teknologi pencampuran dan parameter mutu homogenitas.
6. Menguraikan mekanisme pembentukan emulsi serta peran agen pengemulsi.
7. Mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas produk emulsi.

Peta Konsep

Bab ini mengupas serangkaian operasi unit fundamental yang mengubah bentuk fisik dan komposisi bahan baku. Konsep utama pertama adalah **Pengecilan Ukuran**, yang mencakup prinsip mekanis pemotongan dan penggilingan serta aplikasinya pada bahan nabati dan hewani. Dari sini, kita beralih ke konsep kedua, yaitu **Teknik Pemisahan Mekanis**, yang terurai menjadi metode seperti pengayakan, sentrifugasi, dan aplikasinya pada produk spesifik. Setelah bahan diubah ukurannya dan dipisahkan, operasi selanjutnya adalah menyatukannya kembali secara terkendali melalui **Teknologi Pencampuran** untuk mencapai homogenitas. Akhirnya, bab ini ditutup dengan pembahasan spesifik tentang **Teknik Emulsifikasi**, sebuah proses pencampuran khusus antara cairan yang tidak saling larut, yang sangat vital dalam pembuatan banyak produk pangan.

Pendahuluan

Jika penanganan pascapanen pada bab sebelumnya adalah tentang mempertahankan kondisi bahan baku, maka bab ini akan membawa kita masuk ke ranah transformasi. Di jantung hampir semua proses pengolahan pangan terdapat serangkaian operasi unit yang bertujuan mengubah atribut fisik bahan secara fundamental. Dua operasi yang paling mendasar adalah pengecilan ukuran (*size reduction*) dan pemisahan (*separation*). Operasi-operasi ini mungkin terdengar sederhana, tetapi pada kenyataannya keduanya merupakan proses rekayasa yang presisi dan memiliki dampak

sangat besar terhadap efisiensi proses selanjutnya serta kualitas produk akhir. Pengecilan ukuran bukan sekadar membuat sesuatu menjadi lebih kecil; proses ini bertujuan memperluas luas permukaan, membebaskan komponen yang terperangkap, dan mengubah tekstur.

Bayangkan proses pembuatan tepung dari biji gandum atau produksi santan dari kelapa parut. Keduanya mustahil dilakukan tanpa terlebih dahulu mengecilkan ukuran bahan bakunya. Proses pengecilan ukuran meningkatkan laju ekstraksi, mempercepat laju pengeringan, dan memfasilitasi proses pencampuran yang lebih seragam. Di sisi lain, proses pemisahan memungkinkan kita mengisolasi komponen yang diinginkan dari campuran yang tidak diinginkan. Contohnya adalah memisahkan krim dari susu, menyaring ampas dari sari buah, atau memisahkan tulang dari daging ikan. Tanpa pemisahan yang efektif, banyak produk yang kita kenal tidak akan pernah ada.

Setelah komponen-komponen dipisahkan, sering kali langkah selanjutnya adalah menggabungkannya kembali dengan komponen lain dalam proporsi yang tepat. Di sinilah teknologi pencampuran (*mixing*) memegang peranan. Tujuan pencampuran adalah mencapai keseragaman atau homogenitas, memastikan bahwa setiap gigitan produk memiliki rasa, tekstur, dan penampilan yang konsisten. Proses ini bisa sesederhana mengaduk adonan roti hingga sekompleks mendispersikan sejumlah kecil vitamin secara merata ke dalam *lot* sereal sarapan yang besar.

Salah satu bentuk pencampuran yang paling menantang dan menarik secara ilmiah adalah emulsifikasi, yaitu proses menyatukan dua cairan yang secara alami tidak mau bercampur, seperti minyak dan air. Proses ini merupakan dasar dari pembuatan produk-produk seperti mayones, saus salad, margarin, dan susu homogenisasi. Keberhasilan menciptakan emulsi yang stabil merupakan pencapaian rekayasa fisika dan kimia yang canggih, yang sangat bergantung pada energi mekanis dan penggunaan agen pengemulsi.

Dalam kerangka SIKLUS PANGAN, bab ini menyoroti aspek **Utilisasi Sumber Daya** dan **Kualitas**. Pengecilan ukuran dan pemisahan yang efisien memungkinkan pemanfaatan bahan baku secara maksimal, bahkan hingga ke tingkat molekuler untuk ekstraksi komponen bioaktif. Inovasi terus mendorong pengembangan peralatan yang lebih efisien secara energi dan mampu menghasilkan partikel dengan ukuran yang lebih terkontrol. Dari sudut pandang Kualitas, semua operasi yang dibahas di bab ini secara langsung menentukan atribut sensorik produk akhir, mulai dari kehalusan tekstur tepung, kejernihan jus, hingga stabilitas saus.

Bab ini akan mengantar Anda untuk memahami ilmu di balik proses-proses yang mengubah bentuk fisik bahan pangan. Kita akan mulai dengan menjelajahi prinsip-prinsip mekanis pengecilan ukuran, dilanjutkan dengan berbagai metode pemisahan, sebelum akhirnya membahas bagaimana cara menyatukan kembali komponen-komponen tersebut melalui pencampuran dan emulsifikasi. Pemahaman ini akan memberikan Anda apresiasi yang

lebih dalam terhadap bagaimana bahan baku mentah yang kasar dapat diubah menjadi produk pangan olahan yang halus, seragam, dan stabil.

A. Dasar-Dasar Pengecilan Ukuran (*Size Reduction*)

Pengecilan ukuran, atau kominusi, adalah operasi unit di mana ukuran rata-rata partikel padat suatu bahan dikurangi melalui penerapan gaya-gaya mekanis. Meskipun tujuannya terdengar sederhana, yaitu membuat partikel menjadi lebih kecil, dampak dari operasi ini sangat luas dan fundamental dalam teknologi pangan. Alasan utama dilakukannya pengecilan ukuran adalah untuk meningkatkan luas permukaan per satuan massa bahan. Peningkatan luas permukaan ini secara dramatis akan mempercepat laju proses-proses lain yang bergantung pada transfer panas atau massa, seperti pengeringan, pemanasan, pendinginan, dan ekstraksi. Sebagai contoh, biji kopi yang digiling menjadi bubuk akan jauh lebih cepat diekstraksi aromanya saat diseduh dengan air panas dibandingkan dengan biji kopi utuh.

Selain meningkatkan luas permukaan, pengecilan ukuran juga penting untuk mencapai ukuran partikel tertentu yang disyaratkan oleh produk akhir atau proses selanjutnya. Ukuran partikel tepung terigu, misalnya, sangat memengaruhi tekstur produk roti yang dihasilkan. Kehalusan bubuk cokelat atau gula akan menentukan sensasi di mulut (*mouthfeel*) dari sebuah produk kembang gula. Dalam banyak kasus, pengecilan ukuran merupakan langkah persiapan yang wajib dilakukan sebelum proses pencampuran agar

diperoleh campuran yang homogen. Mencampurkan partikel-partikel dengan ukuran yang seragam jauh lebih mudah daripada mencampurkan partikel dengan rentang ukuran yang sangat lebar.

Proses pengecilan ukuran pada dasarnya adalah tentang memberikan energi mekanis yang cukup untuk memecah struktur internal bahan. Energi ini diterapkan dalam bentuk gaya-gaya yang berbeda, yaitu kompresi (penekanan), impak (tumbukan), atrisi (gesekan), dan pemotongan (*cutting*). Pemilihan jenis gaya yang dominan bergantung pada karakteristik bahan baku, terutama kekerasan dan keliatannya, serta ukuran partikel akhir yang diinginkan. Bahan yang keras dan rapuh seperti biji-bijian atau gula kristal lebih efisien dipecah dengan gaya impak dan kompresi. Sementara itu, bahan yang lebih lunak dan berserat seperti daging atau sayuran lebih cocok dikecilkan ukurannya dengan gaya pemotongan.

Efisiensi energi merupakan salah satu pertimbangan utama dalam proses pengecilan ukuran. Operasi ini, terutama penggilingan halus (*fine grinding*), merupakan salah satu proses yang paling boros energi dalam industri pangan. Sebagian besar energi mekanis yang dimasukkan tidak digunakan untuk memecah partikel, melainkan hilang dalam bentuk panas akibat gesekan. Panas yang timbul ini juga dapat menjadi masalah karena berpotensi merusak komponen-komponen yang sensitif terhadap panas dalam bahan pangan, seperti vitamin dan aroma, atau bahkan dapat menyebabkan denaturasi protein.

Oleh karena itu, pemilihan peralatan pengecilan ukuran yang tepat merupakan keputusan rekayasa yang krusial. Peralatan yang dipilih harus mampu menghasilkan distribusi ukuran partikel yang diinginkan dengan konsumsi energi seminimal mungkin dan kenaikan suhu yang terkendali. Desain mesin yang berbeda akan mengaplikasikan kombinasi gaya-gaya mekanis yang berbeda pula, sehingga cocok untuk jenis bahan dan tujuan yang spesifik.

Memahami prinsip-prinsip pengecilan ukuran memungkinkan seorang ahli teknologi pangan untuk mengontrol salah satu atribut fisik paling dasar dari bahan, yaitu ukurannya. Kemampuan untuk mengontrol ukuran partikel secara presisi merupakan kunci untuk mengoptimalkan proses-proses selanjutnya dan pada akhirnya merancang produk dengan kualitas sensorik dan fungsional yang diinginkan.

Subbab-subbab berikut akan membahas secara lebih detail mengenai prinsip-prinsip mekanis yang terlibat serta berbagai jenis peralatan yang umum digunakan untuk bahan pangan nabati dan hewani. Hal ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bagaimana gaya-gaya fisika sederhana dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan transformasi yang signifikan pada bahan pangan.

Analogi/Contoh Kasus

Proses pengecilan ukuran dalam pengolahan pangan dapat dianalogikan dengan cara seorang koki menyiapkan bumbu di dapur. Ketika koki ingin mengekstrak rasa maksimal dari sepotong lengkuas, ia tidak akan memasukkannya secara utuh ke dalam

masakan. Ia akan memotongnya menjadi irisan-irisan tipis atau bahkan menggilingnya menjadi pasta halus. Setiap tindakan ini merupakan bentuk pengecilan ukuran. Tujuannya adalah untuk "membuka" struktur lengkuas dan memperluas "area kontak" antara lengkuas dan bahan masakan lainnya sehingga rasa dan aromanya dapat menyebar dengan cepat dan merata. Sama seperti koki yang memilih antara pisau (pemotongan) atau ulekan (kompresi dan gesekan), tergantung pada bumbu dan tekstur yang diinginkan, industri pangan juga memilih antara *slicer*, *grinder*, atau *mill*, tergantung pada bahan baku dan spesifikasi produk akhir.

1. Prinsip Mekanis Pemotongan dan Penggilingan

Pengecilan ukuran bahan pangan padat terjadi melalui empat mekanisme dasar. Pertama, kompresi, yaitu penekanan material di antara dua permukaan, yang umum digunakan untuk pemecahan kasar bahan yang keras. Kedua, impak, yang terjadi ketika material dipukul oleh suatu objek pada kecepatan tinggi atau ketika material itu sendiri dilemparkan ke permukaan yang diam, efektif untuk menghasilkan partikel yang lebih halus dari bahan rapuh. Ketiga, atrisi atau gesekan, yaitu ketika partikel-partikel saling bergesekan atau bergesekan dengan permukaan alat sehingga menghasilkan partikel yang sangat halus (Ben, A. et al., 2025). Terakhir, pemotongan, yaitu penggunaan mata pisau tajam untuk memotong bahan menjadi ukuran yang telah ditentukan, yang ideal untuk bahan lunak dan berserat.

Dalam praktiknya, sebagian besar peralatan pengecilan ukuran tidak bekerja dengan satu mekanisme tunggal, melainkan merupakan kombinasi dari beberapa mekanisme tersebut. Sebagai contoh, dalam sebuah *hammer mill*, mekanisme impak dari pukulan palu merupakan gaya yang dominan, tetapi atrisi antarpadat dan antara partikel dengan saringan juga terjadi. Efisiensi konversi energi menjadi energi pemecahan permukaan baru sangatlah rendah, sering kali di bawah 1%, dengan sisa energi diubah menjadi panas dan suara (Fathi et al., 2022). Oleh karena itu, pendinginan sering kali diperlukan untuk proses penggilingan bahan yang sensitif terhadap panas.

2. Peralatan Pengecilan Ukuran untuk Bahan Nabati

Peralatan untuk bahan nabati sangat beragam dan disesuaikan dengan tekstur bahan. Untuk pemotongan buah dan sayuran menjadi bentuk irisan, dadu, atau stik, digunakan mesin pengiris (*slicer*) dan pemotong dadu (*dicer*) yang dilengkapi dengan pisau-pisau presisi. Untuk bahan kering dan rapuh seperti biji-bijian sereal, rempah-rempah, atau gula, digunakan berbagai jenis penggiling atau *mill*. *Hammer mill* menggunakan palu-palu berputar berkecepatan tinggi untuk memecah partikel dengan gaya impak. *Roller mill* menggunakan sepasang silinder yang berputar berlawanan untuk menekan dan menggesek biji-bijian. Metode ini umum digunakan dalam industri penggilingan tepung terigu karena menghasilkan panas yang lebih sedikit.

Untuk menghasilkan partikel yang sangat halus (tingkat mikron), seperti pada produksi tepung gula atau bubuk kakao, digunakan *pin mill* atau *jet mill*. *Pin mill* menggunakan dua piringan dengan pin-pin yang berputar berlawanan untuk menciptakan tumbukan berenergi tinggi. Peralatan yang dipilih tidak hanya menentukan ukuran partikel rata-rata, tetapi juga distribusi ukuran partikel, yang merupakan parameter penting untuk kualitas produk seperti tepung (Bouhile et al., 2025). Distribusi ukuran yang sempit (partikel yang lebih seragam) biasanya lebih diinginkan untuk proses pencampuran dan pengolahan selanjutnya.

3. Peralatan Pengecilan Ukuran untuk Bahan Hewani

Pengecilan ukuran untuk bahan hewani seperti daging dan ikan memiliki tantangan yang berbeda karena sifatnya yang lunak, berserat, dan tinggi lemak. Mekanisme pemotongan merupakan mekanisme yang paling dominan. Peralatan yang paling umum adalah penggiling daging (*meat grinder*), yang menggunakan mekanisme sekrup putar (*auger*) untuk mendorong daging melewati serangkaian pisau berputar dan pelat berlubang (*grinding plate*). Ukuran lubang pada pelat menentukan kehalusan akhir dari daging giling (Ali et al., 2022). Kenaikan suhu selama penggilingan harus dikontrol dengan ketat untuk mencegah pelelehan lemak dan pertumbuhan mikroba, sering kali dengan mendinginkan bagian-bagian mesin atau menggunakan bahan baku yang setengah beku.

Untuk produksi emulsi daging seperti sosis, digunakan alat yang disebut *bowl chopper* atau *cutter*. Alat ini memiliki mangkuk

berputar dan satu set pisau yang berputar pada kecepatan sangat tinggi (ribuan rpm). Kombinasi aksi pemotongan dan pencampuran yang intens ini tidak hanya mengecilkan ukuran partikel daging hingga sangat halus, tetapi juga sekaligus mengekstraksi protein dan mengemulsikan lemak, sehingga menghasilkan adonan yang homogen dan stabil (Waqar et al., 2025). Proses ini menghasilkan panas yang signifikan sehingga sering kali es ditambahkan langsung ke dalam adonan sebagai bagian dari formulasi untuk menjaga suhu tetap rendah.

B. Teknik Pemisahan Mekanis

Setelah bahan dikecilkan ukurannya, langkah selanjutnya dalam banyak proses pengolahan adalah memisahkan komponen-komponen yang berbeda dari campuran yang dihasilkan. Teknik pemisahan mekanis adalah operasi unit yang bertujuan memisahkan dua atau lebih komponen dari suatu campuran berdasarkan perbedaan sifat fisiknya, seperti ukuran partikel, densitas (berat jenis), atau bentuk, tanpa melibatkan perubahan kimia. Operasi ini sangat penting untuk pemurnian bahan baku, klarifikasi cairan, klasifikasi partikel, dan ekstraksi komponen berharga. Tanpa teknik pemisahan, kita tidak akan bisa menikmati jus buah yang jernih, minyak goreng yang bening, atau tepung dengan kehalusan yang konsisten.

Prinsip yang mendasari semua teknik pemisahan mekanis adalah eksploitasi perbedaan sifat fisik. Jika kita ingin memisahkan partikel padat dengan ukuran yang berbeda, kita dapat

menggunakan saringan atau ayakan. Partikel yang lebih kecil dari lubang ayakan akan lolos, sementara yang lebih besar akan tertahan. Jika kita ingin memisahkan padatan dari cairan, seperti ampas dari sari buah, kita dapat menggunakan *filter* atau saringan yang lebih halus. Prinsipnya tetap sama, yaitu perbedaan ukuran, di mana partikel cairan dapat melewati pori-pori *filter*, sementara partikel padatan tidak.

Namun, bagaimana jika kita ingin memisahkan komponen yang memiliki ukuran sangat mirip atau bahkan terlarut, seperti memisahkan krim (lemak) dari susu skim (fasa air)? Di sini, kita memanfaatkan perbedaan sifat fisik lain, yaitu densitas. Krim memiliki densitas yang lebih rendah daripada susu skim. Jika susu dibiarkan diam, krim akan perlahan-lahan naik ke permukaan karena gaya gravitasi. Namun, proses ini sangat lambat. Untuk mempercepatnya secara dramatis, kita menggunakan teknik sentrifugasi. Sentrifugasi menggantikan gaya gravitasi yang lemah dengan gaya sentrifugal yang ribuan kali lebih kuat, memaksa komponen yang lebih padat (susu skim) bergerak ke arah luar dan komponen yang kurang padat (krim) berkumpul di bagian dalam.

Pemilihan teknik dan peralatan pemisahan yang tepat sangat bergantung pada sifat campuran yang akan dipisahkan. Faktor-faktor seperti ukuran partikel, perbedaan densitas, konsentrasi padatan, dan viskositas cairan akan menentukan metode mana yang paling efisien dan ekonomis. Efisiensi pemisahan sering kali diukur

dari tingkat kemurnian produk yang dihasilkan dan tingkat perolehan kembali (*recovery*) komponen yang diinginkan.

Teknik pemisahan mekanis merupakan "pemurni" dalam alur proses pengolahan. Teknik ini mengambil campuran yang heterogen dan mentransformasikannya menjadi fraksi-fraksi yang lebih murni dan lebih bernilai. Dalam beberapa kasus, baik fraksi padat maupun fraksi cair merupakan produk yang diinginkan (misalnya, ampas kedelai untuk tempe dan sari kedelai untuk tahu). Dalam kasus lain, salah satu fraksi merupakan produk, sementara fraksi lainnya merupakan limbah yang perlu ditangani lebih lanjut.

Subbab-subbab berikut akan membahas secara lebih rinci tiga teknik pemisahan mekanis yang paling umum di industri pangan: pengayakan dan penyaringan yang berbasis pada perbedaan ukuran, serta sentrifugasi yang berbasis pada perbedaan densitas. Kita akan melihat bagaimana prinsip-prinsip fisika ini diaplikasikan dalam peralatan industri untuk mencapai pemisahan yang cepat dan efektif.

Analogi/Contoh Kasus

Teknik pemisahan mekanis di industri pangan dapat diibaratkan seperti proses menambang emas secara tradisional. Pertama, penambang mengambil bongkahan tanah dan batu yang mengandung emas (campuran heterogen). Langkah pertama adalah pengayakan (*screening*), yaitu menggunakan ayakan kasar untuk memisahkan batu-batu besar yang tidak mengandung emas. Selanjutnya, ia menggunakan ayakan yang lebih halus untuk

memisahkan kerikil. Kemudian, ia melakukan proses penyaringan (*filtration*) dengan menambahkan air dan menyaring campuran melalui kain untuk menghilangkan lumpur halus. Terakhir, ia melakukan proses pendulangan, yaitu memutar-mutar wajan berisi sisa pasir dan air. Proses ini merupakan bentuk sederhana dari sentrifugasi. Karena emas memiliki densitas yang jauh lebih tinggi daripada pasir, gaya putaran akan membuat pasir yang lebih ringan terlempar keluar bersama air, sementara serpihan emas yang berat akan terkonsentrasi di dasar wajan. Setiap langkah memanfaatkan perbedaan sifat fisik (ukuran dan densitas) untuk memurnikan emas dari bahan-bahan lainnya.

1. Pengayakan (*Screening*) dan Penyaringan

Pengayakan, atau *screening*, adalah proses pemisahan partikel padat berdasarkan ukuran dengan melewatkannya melalui satu atau lebih permukaan berlubang (ayakan). Partikel yang lebih kecil dari bukaan ayakan akan lolos sebagai fraksi “halus” (*fines*), sementara partikel yang lebih besar akan tertahan sebagai fraksi “kasar” (*oversize*). Di industri pangan, pengayakan digunakan untuk beberapa tujuan, seperti mengklasifikasikan tepung ke dalam beberapa tingkatan kehalusan, memisahkan debu dari biji-bijian, atau memastikan ukuran partikel bahan baku seragam sebelum proses pencampuran (Ben, A. et al., 2025). Efektivitas pengayakan dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk ukuran dan bentuk bukaan ayakan, luas permukaan ayakan, serta metode untuk

menggetarkan atau menggoyangkan ayakan guna mencegah penyumbatan.

Penyaringan, atau filtrasi, adalah proses pemisahan partikel padat dari fluida (cair atau gas) dengan melewatkan campuran melalui medium berpori (*filter*) yang menahan padatan, tetapi membiarkan fluida melewatinya. Proses ini sangat umum digunakan untuk menjernihkan cairan, seperti pada produksi jus buah jernih, bir, dan minyak goreng. Perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi filtrat menjadi gaya pendorong dalam proses ini. Seiring berjalannya waktu, partikel padatan akan terakumulasi pada permukaan *filter* dan membentuk lapisan yang disebut *filter cake*, yang dapat meningkatkan resistensi aliran sehingga proses perlu dihentikan secara berkala untuk pembersihan (Sultana et al., 2022).

2. Teknik Sentrifugasi untuk Pemisahan Cair-Cair

Sentrifugasi adalah teknik yang menggunakan gaya sentrifugal untuk mempercepat pemisahan komponen-komponen dalam campuran berdasarkan perbedaan densitasnya. Ketika sebuah campuran diputar pada kecepatan tinggi, komponen dengan densitas lebih tinggi akan terdorong ke arah luar (menjauhi pusat rotasi), sementara komponen dengan densitas lebih rendah akan tergeser ke arah dalam (mendekati pusat rotasi). Teknik ini sangat efektif untuk memisahkan dua cairan yang tidak saling campur (*immiscible*) dan memiliki densitas yang berbeda, seperti minyak dan air.

Contoh klasik aplikasi sentrifugasi cair-cair adalah pemisahan krim (fasa lemak, densitas lebih rendah) dari susu skim (fasa air, densitas lebih tinggi) dalam industri susu. Dalam alat pemisah sentrifugal (*centrifugal separator*), susu dimasukkan ke dalam mangkuk yang berputar pada ribuan rpm. Krim yang lebih ringan akan terkumpul di bagian tengah dan keluar melalui satu saluran, sementara susu skim yang lebih berat akan terlempar ke dinding mangkuk dan keluar melalui saluran lain secara kontinu (Waqar et al., 2025). Proses ini jauh lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan pemisahan gravitasi biasa.

3. Penggunaan Alat Pemisah Sentrifugal Industri

Alat pemisah sentrifugal industri, atau sentrifus, hadir dalam berbagai desain untuk aplikasi yang berbeda. Selain pemisahan cair-cair, sentrifus juga banyak digunakan untuk pemisahan padat-cair. *Decanter centrifuge* merupakan jenis sentrifus horizontal yang dirancang untuk menangani campuran dengan konsentrasi padatan yang tinggi, seperti pada pengolahan limbah cair atau pemekatan lumpur. Alat ini menggunakan sekrup internal (*scroll*) yang berputar sedikit lebih lambat dari mangkuk utama untuk mendorong padatan yang terkumpul di dinding ke salah satu ujung untuk dikeluarkan, sementara cairan yang jernih keluar dari ujung lainnya (Coppola et al., 2021).

Untuk pemisahan partikel padat yang sangat halus dari cairan (klarifikasi), digunakan *disc-stack centrifuge*. Alat ini memiliki setumpuk piringan berbentuk kerucut di dalam mangkuknya.

Piringan-piringan ini menyediakan luas permukaan yang sangat besar untuk pemisahan dan secara signifikan mengurangi jarak tempuh partikel untuk mengendap. Hal ini membuatnya sangat efisien untuk menjernihkan minuman seperti bir dan anggur atau untuk memanen sel-sel mikroba dari media fermentasi (Ali et al., 2022). Pemilihan jenis sentrifus yang tepat bergantung pada tujuan pemisahan, ukuran partikel, konsentrasi padatan, dan perbedaan densitas antar komponen.

C. Aplikasi Pemisahan pada Produk

Teori dan prinsip teknik pemisahan mekanis menjadi nyata ketika kita melihat aplikasinya yang sangat beragam dan krusial dalam pembuatan produk-produk pangan sehari-hari. Hampir setiap produk olahan yang kita temui telah melalui setidaknya satu tahap pemisahan dalam proses produksinya. Aplikasi ini bertujuan mencapai berbagai target, mulai dari peningkatan kualitas sensorik seperti kejernihan dan tekstur, pemurnian komponen untuk meningkatkan stabilitas dan umur simpan, hingga ekstraksi senyawa bernilai tinggi yang menjadi produk utama itu sendiri. Keberhasilan aplikasi ini sering kali menjadi penentu kualitas dan nilai ekonomi produk akhir.

Sebagai contoh, dalam industri jus buah, preferensi konsumen sering kali terbagi antara jus keruh (*cloudy*) dan jus jernih (*clear*). Untuk menghasilkan jus jernih, partikel-partikel padat tersuspensi seperti *pulp*, serat, dan pektin harus dihilangkan. Hal ini biasanya dicapai melalui kombinasi beberapa teknik pemisahan, seperti

penyaringan awal untuk memisahkan ampas kasar, diikuti oleh perlakuan enzim untuk memecah pektin, dan diakhiri dengan sentrifugasi atau filtrasi membran untuk menghilangkan partikel-partikel halus yang tersisa sehingga menghasilkan produk yang jernih secara visual.

Dalam industri perikanan, efisiensi merupakan kunci. Pemanfaatan setiap bagian dari ikan menjadi sangat penting. Salah satu tantangan terbesar adalah memisahkan daging ikan yang berharga dari tulang, kulit, dan jaringan ikat lainnya, terutama dari ikan-ikan kecil atau sisa potongan fillet yang sulit diolah secara manual. Teknologi pemisahan mekanis, seperti mesin pemisah daging dan tulang (*deboner*), memungkinkan perolehan kembali (*recovery*) daging dalam jumlah signifikan yang tadinya akan terbuang. Daging lumat yang dihasilkan, yang dikenal sebagai surimi, menjadi bahan dasar untuk berbagai produk olahan seperti bakso ikan, sosis ikan, dan kamaboko.

Teknik pemisahan merupakan inti dari proses ekstraksi. Ekstraksi adalah operasi pemisahan di mana satu atau lebih komponen (zat terlarut) dipindahkan dari satu fasa (misalnya, padatan) ke fasa lain (pelarut cair). Pengecilan ukuran bahan baku sering kali menjadi langkah awal untuk memperluas area kontak, diikuti oleh proses ekstraksi itu sendiri. Setelah itu, teknik pemisahan seperti filtrasi dan sentrifugasi digunakan untuk memisahkan larutan ekstrak yang kaya akan komponen yang diinginkan dari sisa bahan padat (ampas). Proses ini merupakan

dasar dari produksi minyak nabati, gula, kopi instan, dan berbagai ekstrak perisa alami.

Aplikasi-aplikasi ini menunjukkan bahwa pemisahan bukanlah sekadar proses “membersihkan”, melainkan sebuah alat rekayasa yang kuat untuk mendesain dan menciptakan produk dengan karakteristik yang spesifik. Kemampuan untuk mengisolasi atau menghilangkan komponen tertentu secara selektif memberikan kontrol yang luar biasa kepada produsen pangan atas komposisi, fungsionalitas, dan kualitas produk akhir mereka.

Subbab-subbab berikut akan mengelaborasi tiga contoh aplikasi spesifik ini secara lebih mendalam: pemisahan serat pada sari buah, pemisahan daging ikan dari tulang, dan proses ekstraksi komponen. Melalui contoh-contoh ini, kita akan melihat bagaimana prinsip-prinsip yang telah dibahas sebelumnya diimplementasikan dalam peralatan industri nyata untuk menyelesaikan masalah-masalah praktis dalam pengolahan pangan.

Analogi/Contoh Kasus

Jendela Industri: Modernisasi Pabrik Santan Kelapa di Sulawesi Utara

Sebuah pabrik pengolahan kelapa terpadu di Sulawesi Utara secara tradisional memproduksi santan dengan metode pengepresan parutan kelapa, diikuti dengan penyaringan menggunakan kain saring. Proses ini lambat, tidak higienis, dan menghasilkan santan dengan kadar lemak yang tidak konsisten serta umur simpan yang

pendek. Pada tahun 2021, pabrik ini berinvestasi dalam lini produksi modern. Setelah pengepresan hidraulik, santan mentah kini langsung dialirkan ke sebuah *decanter centrifuge* untuk memisahkan sebagian besar padatan tersuspensi (ampas halus). Selanjutnya, santan dialirkan ke *disc-stack centrifuge* (pemisah krim) berkecepatan tinggi. Alat ini secara presisi memisahkan santan menjadi tiga fraksi: krim santan berkadar lemak tinggi (untuk diekspor), santan berkadar lemak standar (untuk pasar domestik), dan air skim. Modernisasi proses pemisahan ini tidak hanya meningkatkan kapasitas produksi hingga lima kali lipat, tetapi juga menghasilkan produk dengan kualitas dan kadar lemak yang terstandar, serta membuka peluang pasar baru untuk produk-produk turunan yang berbeda.

1. Pemisahan Serat dan Ampas pada Sari Buah

Dalam produksi sari buah, terutama yang diinginkan jernih, pemisahan serat dan ampas merupakan langkah krusial. Setelah buah dihancurkan atau dipres untuk mengeluarkan sarinya, campuran yang dihasilkan (disebut *mash* atau *pulp*) mengandung cairan (sari buah) dan padatan (serat, kulit, biji). Langkah pemisahan awal biasanya menggunakan *decanter centrifuge* atau *screw press* untuk memisahkan sebagian besar padatan kasar. Proses ini menghasilkan fraksi cair yang masih keruh (Bouhile et al., 2025).

Untuk mendapatkan kejernihan yang lebih tinggi, sari buah keruh ini kemudian diolah lebih lanjut. Sering kali ditambahkan

enzim pektinase untuk mendegradasi pektin yang menyebabkan kekeruhan. Setelah reaksi enzimatik, sari buah dialirkan ke *clarifier* sentrifugal (seperti *disc-stack centrifuge*) yang akan mengendapkan partikel-partikel halus yang tersisa. Alternatif modern lainnya adalah penggunaan teknik filtrasi membran, seperti mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi, yang dapat menyaring partikel hingga ke tingkat molekuler untuk menghasilkan sari buah yang sangat jernih tanpa perlu perlakuan panas (Ben, A. et al., 2025).

2. Pemisahan Daging Ikan dari Tulang

Pemisahan daging ikan dari tulang secara mekanis, atau *deboning*, merupakan aplikasi penting untuk meningkatkan utilisasi sumber daya perikanan. Mesin pemisah ini bekerja dengan prinsip menekan ikan (yang sudah dibuang kepala dan isi perutnya) di antara sabuk berlubang (*perforated belt*) dan drum berputar. Daging ikan yang lunak akan tertekan dan lolos melalui lubang-lubang kecil pada drum, sementara tulang, kulit, dan sisik yang lebih keras akan tertahan dan dikeluarkan secara terpisah (Ali et al., 2022).

Daging lumat yang dihasilkan dari proses ini, yang disebut *minced fish* atau surimi jika telah melalui proses pencucian, menjadi bahan baku serbaguna untuk berbagai produk. Teknologi ini memungkinkan pemanfaatan ikan-ikan yang berukuran kecil, memiliki bentuk yang tidak beraturan, atau merupakan sisa dari proses *filleting* yang sulit diolah secara manual. Kualitas surimi sangat dipengaruhi oleh kesegaran bahan baku dan proses pencucian setelah pemisahan untuk menghilangkan lemak dan

komponen larut air yang dapat memengaruhi warna dan stabilitas gel (Waqar et al., 2025).

3. Ekstraksi Komponen Spesifik dari Bahan Baku

Ekstraksi adalah proses pemisahan yang bertujuan mengambil komponen spesifik (zat terlarut) dari matriks bahan baku dengan menggunakan pelarut. Proses ini melibatkan serangkaian langkah pemisahan. Contoh klasik adalah ekstraksi minyak dari biji kedelai. Biji kedelai pertama-tama dikecilkan ukurannya menjadi serpihan (*flakes*) untuk memperluas permukaan. Serpihan ini kemudian dicampur dengan pelarut, biasanya heksana. Minyak akan larut ke dalam heksana dan membentuk larutan yang disebut misela.

Langkah pemisahan pertama adalah memisahkan misela (cair) dari ampas kedelai (*spent flakes*) yang padat, biasanya menggunakan filtrasi atau sentrifugasi. Langkah pemisahan kedua adalah memisahkan minyak dari pelarut heksana. Hal ini dilakukan dengan proses evaporasi (penguapan), di mana heksana yang memiliki titik didih rendah akan menguap, meninggalkan minyak mentah. Uap heksana kemudian dikondensasikan kembali menjadi cair untuk digunakan ulang sehingga membuat proses ini lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Coppola et al., 2021). Prinsip yang sama berlaku untuk ekstraksi gula dari tebu, kafein dari kopi, atau pigmen alami dari tumbuhan.

D. Teknologi Pencampuran (*Mixing*)

Setelah melalui proses pengecilan ukuran dan pemisahan untuk mendapatkan komponen-komponen yang diinginkan, sering kali langkah selanjutnya dalam pengolahan pangan adalah menggabungkan kembali komponen-komponen tersebut atau mencampurkannya dengan bahan-bahan lain untuk membentuk produk akhir. Teknologi pencampuran (*mixing*) adalah operasi unit yang bertujuan mengurangi ketidakseragaman atau gradien konsentrasi, sifat, atau suhu di dalam suatu sistem. Tujuannya adalah mencapai tingkat keseragaman atau homogenitas yang dapat diterima. Dalam konteks industri pangan, hal ini berarti memastikan bahwa setiap porsi produk yang sampai kepada konsumen memiliki komposisi, rasa, warna, dan tekstur yang sama.

Pencampuran merupakan salah satu operasi yang paling umum, tetapi juga paling kompleks dalam industri pangan. Kompleksitasnya muncul dari keragaman sifat fisik bahan yang harus dicampurkan. Mencampurkan dua jenis cairan yang mudah larut seperti sirup dan air relatif mudah. Namun, tantangannya meningkat secara signifikan ketika kita harus mencampurkan bubuk dengan densitas yang berbeda, mendispersikan sejumlah kecil cairan (seperti perisa) ke dalam matriks padat yang besar, membuat adonan kental dari tepung dan air, atau menyuspensikan partikel padat dalam cairan tanpa membuatnya mengendap. Setiap skenario ini memerlukan prinsip dan peralatan pencampuran yang berbeda.

Mekanisme pencampuran dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Pencampuran konvektif melibatkan pergerakan besar dari sekelompok partikel dari satu lokasi ke lokasi lain, seperti yang terjadi saat adonan dilipat. Pencampuran difusif terjadi pada skala partikel individual, ketika partikel-partikel bergerak secara acak dan berpindah posisi relatif satu sama lain. Pencampuran geser (*shear mixing*) menciptakan *slip-plane* atau lapisan-lapisan yang bergerak dengan kecepatan berbeda di dalam material, yang sangat efektif untuk memecah gumpalan dan mendispersikan komponen.

Kualitas dari suatu proses pencampuran dinilai dari seberapa dekat campuran akhir mendekati kondisi acak yang sempurna, yang dikenal sebagai homogenitas. Mencapai homogenitas 100% secara teoritis memerlukan waktu yang tidak terbatas. Oleh karena itu, dalam praktik industri, pencampuran dilakukan hingga mencapai tingkat keseragaman yang dapat diterima (*acceptable homogeneity*), yang ditentukan berdasarkan spesifikasi produk. Waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat ini disebut waktu pencampuran (*mixing time*). Mencampur terlalu singkat akan menghasilkan produk yang tidak seragam, sementara mencampur terlalu lama dapat menjadi tidak efisien secara energi atau bahkan merusak komponen (misalnya, *overmixing* pada adonan roti).

Pemilihan jenis alat pencampur (*mixer*) yang tepat merupakan kunci keberhasilan. Desain impeler atau agitator, bentuk wadah, dan kecepatan putaran harus disesuaikan dengan sifat-sifat reologi (aliran dan deformasi) dari bahan yang dicampur, seperti viskositas,

densitas, dan ukuran partikel. Alat yang efisien untuk cairan berviskositas rendah akan sangat tidak efektif untuk pasta yang kental.

Pencampuran yang baik merupakan fondasi dari kualitas produk yang konsisten. Kegagalan dalam mencapai homogenitas dapat menyebabkan masalah serius, seperti variasi rasa antar kemasan, dosis nutrisi yang tidak akurat pada produk fortifikasi, atau warna yang tidak merata. Oleh karena itu, memahami prinsip-prinsip teknologi pencampuran sangat penting bagi setiap praktisi di industri pangan.

Analogi/Contoh Kasus

Teknologi pencampuran dapat diibaratkan seperti tugas seorang dirigen orkestra. “Bahan-bahan” adalah para musisi dengan instrumen yang berbeda-beda (biola, trompet, drum). Jika dibiarkan bermain sendiri-sendiri, hasilnya akan menjadi suara yang kacau dan tidak harmonis (campuran heterogen). Sang dirigen, yang mewakili alat pencampur, menggunakan tongkatnya (impeler) untuk memberikan instruksi yang terkoordinasi. Melalui gerakan dan tempo yang tepat (kecepatan dan mekanisme pencampuran), ia memadukan suara dari setiap seksi instrumen menjadi satu kesatuan musik yang indah dan seimbang. Tujuannya adalah mencapai homogenitas sonik, yaitu ketika tidak ada satu instrumen pun yang terlalu menonjol atau tidak terdengar. Sama seperti dirigen yang harus memahami karakteristik setiap instrumen, seorang insinyur pangan harus memahami sifat setiap bahan untuk

merancang proses pencampuran yang menghasilkan "simfoni" produk yang sempurna.

1. Prinsip Dasar Pencampuran Bahan Pangan

Prinsip dasar pencampuran adalah mendistribusikan komponen-komponen yang awalnya terpisah secara merata satu sama lain. Untuk cairan yang saling larut (*miscible*), pencampuran didorong oleh penghilangan gradien konsentrasi melalui mekanisme konveksi (aliran curah) dan difusi molekuler. Untuk padatan, tujuannya adalah mencapai distribusi partikel yang acak secara spasial. Kualitas campuran padat sering kali dipengaruhi oleh kecenderungan partikel untuk terpisah kembali (*segregation*) setelah dicampur, terutama jika terdapat perbedaan besar dalam ukuran, bentuk, atau densitas partikel (Mafe et al., 2024).

Untuk campuran padat-cair, seperti pembuatan adonan atau suspensi, tujuannya adalah membasahi seluruh permukaan partikel padat secara seragam dan mendistribusikannya ke seluruh fasa cair. Tingkat pencampuran yang diperlukan bervariasi. Pencampuran makro (*macromixing*) mengacu pada keseragaman dalam skala besar, sementara pencampuran mikro (*micromixing*) mengacu pada keseragaman pada tingkat molekuler atau partikel, yang sangat penting untuk reaksi kimia atau proses transfer massa yang cepat (Fathi et al., 2022).

2. Jenis Alat Pencampur (*Mixer*) Industri

Jenis alat pencampur sangat bervariasi sesuai dengan aplikasinya. Untuk cairan berviskositas rendah hingga sedang, digunakan tangki berpengaduk (*agitated tank*) yang dilengkapi dengan berbagai jenis impeler, seperti propeler (untuk aliran aksial), turbin (untuk aliran radial dan geser), atau dayung (*paddle*). Untuk bahan yang sangat kental seperti adonan roti atau permen karet, digunakan *mixer* dengan aksi geser dan lipatan yang kuat, seperti *sigma-blade mixer* atau *planetary mixer* (Sultana et al., 2022).

Untuk pencampuran bubuk atau padatan kering, digunakan *mixer* seperti *ribbon blender*, yang menggunakan pita heliks ganda untuk menggerakkan material secara aksial dan radial. *Tumble blender*, seperti *V-cone blender* atau *double-cone blender*, bekerja dengan cara memutar seluruh wadah untuk membuat material longsor dan teraduk secara konvektif. Pemilihan alat yang tepat sangat krusial untuk mencegah segregasi dan meminimalkan kerusakan partikel selama pencampuran.

3. Homogenitas Campuran sebagai Parameter Mutu

Homogenitas merupakan parameter kunci untuk menilai keberhasilan suatu operasi pencampuran. Secara statistik, campuran dianggap homogen jika sampel-sampel yang diambil dari lokasi yang berbeda di dalam *mixer* menunjukkan komposisi yang secara signifikan tidak berbeda satu sama lain dan mendekati komposisi target. Tingkat homogenitas dapat diukur dengan menganalisis konsentrasi komponen kunci (misalnya, garam,

pewarna, atau zat aktif) pada sampel-sampel tersebut dan menghitung simpangan baku atau variansnya (Ben, A. et al., 2025).

Dalam praktik industri, "indeks pencampuran" (*mixing index*) sering digunakan untuk membandingkan varians konsentrasi sampel dengan varians awal sebelum pencampuran. Proses pencampuran dianggap selesai ketika indeks pencampuran telah mencapai nilai *plateau* yang dapat diterima. Penentuan titik akhir pencampuran ini penting untuk memastikan kualitas produk yang konsisten tanpa membuang waktu dan energi untuk pencampuran yang berlebihan, yang dikenal sebagai *overmixing*.

E. Teknik Emulsifikasi

Di antara berbagai jenis operasi pencampuran, emulsifikasi memegang tempat khusus karena tantangan fundamental yang dihadapinya: memaksa dua cairan yang secara alami saling menolak, seperti minyak dan air, untuk bersatu dalam sebuah campuran yang stabil. Emulsi adalah sistem dispersi heterogen yang terdiri atas setidaknya satu cairan yang tidak saling larut yang terdispersi dalam cairan lain dalam bentuk tetesan (*droplet*) kecil. Cairan yang terdispersi disebut fasa terdispersi atau fasa internal, sementara cairan yang melingkupinya disebut fasa kontinu atau fasa eksternal. Susu, mayones, mentega, dan saus salad merupakan contoh produk emulsi yang umum kita jumpai.

Secara termodinamika, emulsi merupakan sistem yang tidak stabil. Ketika minyak dan air dicampur, terdapat tegangan

antarmuka yang besar di antara keduanya. Sistem akan selalu berusaha mencapai tingkat energi terendah, yaitu dengan meminimalkan luas area kontak antara minyak dan air. Inilah sebabnya mengapa setelah dikocok, minyak dan air akan cepat terpisah kembali menjadi dua lapisan. Proses emulsifikasi bertujuan melawan kecenderungan alami ini. Hal ini dicapai melalui dua aksi utama.

Pertama, penerapan energi mekanis yang intens untuk memecah salah satu fasa cairan menjadi *droplet-droplet* berukuran sangat kecil (mikron atau bahkan nanometer), sehingga secara drastis meningkatkan luas area antarmuka.

Namun, energi mekanis saja tidak cukup. *Droplet-droplet* kecil yang baru terbentuk akan cenderung bergabung kembali (*coalescence*) untuk mengurangi energi sistem. Di sinilah peran krusial dari komponen ketiga, yaitu agen pengemulsi atau *emulsifier*, dibutuhkan. Agen pengemulsi adalah molekul amfifilik, yang berarti memiliki satu ujung yang suka air (hidrofilik) dan satu ujung yang suka minyak (lipofilik). Ketika ditambahkan ke dalam campuran, molekul pengemulsi akan bermigrasi ke antarmuka antara *droplet* minyak dan air. Ujung lipofiliknya akan masuk ke dalam *droplet* minyak, sementara ujung hidrofiliknya akan tetap berada di fasa air.

Dengan melapisi permukaan *droplet*, agen pengemulsi menciptakan sebuah lapisan pelindung yang secara fisik menghalangi *droplet-droplet* untuk bergabung kembali. Lapisan ini juga mengurangi tegangan antarmuka, sehingga membuat sistem

menjadi lebih stabil secara energi. Selain itu, jika ujung hidrofilik dari pengemulsi membawa muatan listrik (ionik), semua *droplet* akan memiliki muatan yang sama (misalnya, sama-sama negatif), yang menciptakan gaya tolak-menolak elektrostatis di antara mereka dan semakin meningkatkan stabilitas emulsi.

Jenis emulsi yang terbentuk, apakah minyak dalam air (O/W) seperti susu dan mayones atau air dalam minyak (W/O) seperti mentega dan margarin, sangat bergantung pada sifat agen pengemulsi yang digunakan dan perbandingan volume kedua fasa. Memahami dan mengontrol mekanisme-mekanisme ini merupakan inti dari perancangan produk emulsi pangan dengan tekstur, penampilan, dan stabilitas yang diinginkan.

Analogi/Contoh Kasus

Teknik emulsifikasi dapat diibaratkan seperti mendamaikan dua kelompok orang yang saling bermusuhan (misalnya, “Geng Minyak” dan “Geng Air”) di sebuah ruangan pesta. Jika hanya dibiarkan, kedua geng ini akan langsung memisahkan diri ke sudut yang berlawanan. Energi mekanis dari alat *homogenizer* adalah seperti seorang penyelenggara pesta yang sangat energik, yang berlari ke sana kemari untuk memecah kerumunan besar kedua geng menjadi individu-individu atau kelompok-kelompok kecil. Namun, jika dibiarkan, individu-individu ini akan segera mencari teman segengnya dan berkumpul kembali. Di sinilah peran agen pengemulsi, yang dapat diibaratkan sebagai seorang mediator atau “teman bersama” yang populer dan dikenal baik oleh kedua geng.

Mediator ini akan berdiri di antara anggota Geng Minyak dan Geng Air, merangkul keduanya, dan mencegah mereka untuk berkelahi atau berkumpul kembali dengan gengnya masing-masing. Dengan adanya banyak mediator yang tersebar di seluruh ruangan, terciptalah sebuah pesta yang "stabil" di mana semua orang tampak berbaur.

1. Mekanisme Pembentukan Emulsi

Pembentukan emulsi merupakan proses yang sangat bergantung pada energi. Energi mekanis yang tinggi diperlukan untuk mengatasi tegangan antarmuka dan menciptakan luas permukaan baru dengan memecah fasa internal menjadi *droplet-droplet* kecil. Peralatan yang digunakan untuk tujuan ini disebut *homogenizer* atau *emulsifier*. *High-pressure valve homogenizer (HPH)* merupakan salah satu yang paling umum, di mana campuran kasar dipaksa melewati celah katup yang sangat sempit pada tekanan sangat tinggi. Kombinasi gaya geser yang intens, kavitasi, dan turbulensi di dalam celah ini secara efektif memecah *droplet* hingga ke ukuran mikron atau submikron (Waqar et al., 2025).

Metode lain termasuk penggunaan *colloid mill*, yang memecah *droplet* dengan gaya geser tinggi di antara rotor dan stator yang berputar cepat, serta homogenisasi ultrasonik, yang menggunakan gelombang suara berfrekuensi tinggi untuk menciptakan gelembung-gelembung kavitasi yang meledak dan memecah *droplet* di sekitarnya. Efisiensi pembentukan emulsi bergantung pada jumlah energi yang dimasukkan, viskositas kedua fasa, dan

keberadaan agen pengemulsi yang dapat dengan cepat melapisi permukaan *droplet* yang baru terbentuk (Fathi et al., 2022).

2. Agen Pengemulsi (*Emulsifier*) Alami dan Sintetik

Agen pengemulsi, atau surfaktan, merupakan komponen kunci untuk stabilisasi emulsi. Berdasarkan asalnya, agen pengemulsi dapat diklasifikasikan sebagai alami atau sintetik. Pengemulsi alami banyak ditemukan dalam bahan pangan itu sendiri. Contohnya termasuk lesitin (fosfolipid) yang melimpah di kuning telur (kunci pembuatan mayones) dan kedelai, serta protein seperti kasein dalam susu yang berfungsi sebagai pengemulsi alami untuk globula lemak susu (Ali et al., 2022). Polisakarida tertentu, seperti gum arab dan beberapa pati termodifikasi, juga dapat berfungsi sebagai penstabil emulsi.

Pengemulsi sintetik diproduksi melalui reaksi kimia untuk mendapatkan sifat amfifilik yang spesifik. Contoh yang umum digunakan dalam industri pangan adalah mono- dan digliserida, serta turunan ester sorbitan seperti Polisorbat 80. Sifat pengemulsi sering dikarakterisasi dengan skala Keseimbangan Hidrofilik-Lipofilik (*Hydrophilic-Lipophilic Balance* atau HLB). Pengemulsi dengan nilai HLB tinggi lebih hidrofilik dan cenderung membentuk emulsi minyak-dalam-air (O/W), sementara yang bernilai HLB rendah lebih lipofilik dan mendukung pembentukan emulsi air-dalam-minyak (W/O) (Mafe et al., 2024).

3. Stabilitas Emulsi pada Produk Olahan

Setelah terbentuk, emulsi menghadapi berbagai mekanisme ketidakstabilan yang dapat menyebabkan pemisahan fasa seiring waktu. Mekanisme ini meliputi *creaming* atau sedimentasi, yaitu pergerakan *droplet* ke atas atau ke bawah karena perbedaan densitas dan gaya gravitasi, tanpa perubahan ukuran *droplet*. *Flocculation* adalah penggumpalan *droplet* yang membentuk agregat, tetapi setiap *droplet* masih mempertahankan integritasnya. *Coalescence* merupakan mekanisme yang paling merusak, yaitu ketika *droplet-droplet* yang bertemu bergabung menjadi *droplet* yang lebih besar, yang pada akhirnya mengarah pada pemisahan fasa total (Ben, A. et al., 2025).

Stabilitas emulsi dapat ditingkatkan dengan beberapa cara. Mengecilkan ukuran *droplet* (misalnya, melalui homogenisasi) akan memperlambat laju *creaming* secara signifikan (sesuai Hukum Stokes). Menggunakan agen pengemulsi yang efektif akan mencegah *coalescence*. Selain itu, meningkatkan viskositas fasa kontinu, misalnya dengan menambahkan zat penstabil seperti *xanthan gum* atau karagenan, akan memperlambat pergerakan *droplet*, sehingga meningkatkan stabilitas terhadap *creaming* dan flokulasi. Memahami dan mengendalikan mekanisme-mekanisme ini merupakan kunci untuk merancang produk emulsi dengan umur simpan yang panjang.

Rangkuman Bab

1. Pengecilan ukuran (*size reduction*) bertujuan memperluas luas permukaan bahan, yang dicapai melalui gaya mekanis seperti kompresi, impak, atrisi, dan pemotongan.
2. Peralatan pengecilan ukuran dipilih berdasarkan sifat bahan; *mill* (penggiling) digunakan untuk bahan nabati kering, sedangkan *cutter* atau *grinder* (pemotong/penggiling) digunakan untuk bahan hewani yang lunak dan berserat.
3. Teknik pemisahan mekanis memisahkan komponen berdasarkan perbedaan sifat fisik.
4. Pengayakan dan penyaringan berdasarkan perbedaan ukuran, sedangkan sentrifugasi berdasarkan perbedaan densitas.
5. Aplikasi pemisahan sangat luas, meliputi penjernihan sari buah, pemisahan daging ikan dari tulang (*deboning*), dan ekstraksi komponen spesifik seperti minyak nabati.
6. Teknologi pencampuran (*mixing*) bertujuan mencapai homogenitas atau keseragaman komposisi dalam suatu produk, yang merupakan parameter mutu krusial.
7. Emulsifikasi adalah proses mendispersikan satu cairan yang tidak larut ke dalam cairan lain dengan bantuan energi mekanis (homogenisasi) dan agen pengemulsi (surfaktan).
8. Stabilitas emulsi dipengaruhi oleh ukuran *droplet*, efektivitas lapisan pengemulsi, dan viskositas fasa kontinu, serta harus

mampu melawan mekanisme ketidakstabilan seperti *creaming*, flokulasi, dan *coalescence*.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan empat prinsip mekanis dasar dalam pengecilan ukuran. Berikan contoh satu jenis bahan pangan dan jelaskan prinsip mana yang paling efektif untuk mengecilkan ukurannya dan mengapa.
2. Bandingkan dan kontraskan teknik pemisahan menggunakan *decanter centrifuge* dan *disc-stack centrifuge*. Jelaskan jenis campuran (padat-cair) seperti apa yang cocok untuk masing-masing alat tersebut.
3. Jelaskan peran ganda dari alat *bowl chopper (cutter)* dalam proses pembuatan sosis. Kaitkan fungsinya dengan konsep pengecilan ukuran dan emulsifikasi.
4. Mengapa homogenitas dianggap sebagai parameter mutu penting dalam proses pencampuran? Berikan contoh produk pangan fortifikasi dan jelaskan konsekuensi serius jika homogenitas tidak tercapai.
5. Uraikan peran agen pengemulsi dalam menciptakan emulsi yang stabil dari sudut pandang fisika dan kimia. Jelaskan mengapa homogenisasi saja tidak cukup untuk menjaga stabilitas emulsi dalam jangka panjang.

Soal Pilihan Ganda

1. Proses pengecilan ukuran biji jagung kering menjadi tepung jagung paling efisien dilakukan dengan peralatan yang mengandalkan gaya...

   a. Pemotongan
   b. Impak dan atrisi
   c. Ekstraksi
   d. Emulsifikasi

2. Teknik pemisahan yang paling tepat untuk memisahkan krim (lemak) dari susu skim secara cepat di industri susu adalah...

   a. Filtras
   b. Pengayakan
   c. Sentrifugasi
   d. Evaporasi

3. Dalam proses pembuatan mayones, kuning telur berfungsi sebagai...

   a. Fasa terdispersi
   b. Fasa kontinu
   c. Agen pengemulsi
   d. Zat pemberi warna

4. Ketidakstabilan emulsi di mana *droplet-droplet* bergabung menjadi *droplet* yang lebih besar hingga akhirnya memisah total disebut...

a. *Creaming*
b. Sedimentasi
c. *Flocculation*
d. *Coalescence*

5. Alat yang menggunakan pita heliks ganda untuk *menggerakkan* dan mencampur bahan padatan kering seperti campuran tepung bumbu adalah...

a. *Planetary mixer*
b. *Homogenizer*
c. *Ribbon blender*
d. *Colloid mill*

6. Tujuan utama mengecilkan ukuran bahan pangan sebelum proses pengeringan atau ekstraksi adalah untuk...

a. Meningkatkan berat jenisnya
b. Mengurangi kandungan airnya
c. Meningkatkan luas permukaan kontak
d. Mengubah warnanya

7. Mesin pemisah daging ikan dari tulang (*deboner*) bekerja berdasarkan prinsip perbedaan...

a. Warna antara daging dan tulang
b. Densitas antara daging dan tulang
c. Kekerasan dan tekstur antara daging dan tulang
d. Ukuran molekul antara daging dan tulang

8. Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesukaan suatu zat pengemulsi terhadap air atau minyak adalah...

   a. pH (*Potential of Hydrogen*)
   b. *a_w* (*Water Activity*)
   c. HLB (*Hydrophilic-Lipophilic Balance*)
   d. D-value (*Decimal Reduction Time*)

9. Fenomena ketika partikel-partikel dengan ukuran atau densitas berbeda cenderung terpisah kembali setelah dicampur disebut...

   a. Homogenisasi
   b. Segregasi
   c. Kavitasi
   d. Aglomerasi

10. Dalam proses penjernihan sari apel, enzim pektinase ditambahkan untuk...

    a. Membunuh mikroorganisme
    b. Menambah rasa manis
    c. Mendegradasi pektin penyebab kekeruhan
    d. Mencegah oksidasi

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

1. **Optimasi Proses Tepung Beras:** Sebuah UMKM produsen tepung beras mengeluhkan bahwa produk mereka terkadang masih kasar dan waktu pengeringan setelah penggilingan basah terlalu lama. Berdasarkan konsep dari Bab 3, berikan tiga rekomendasi spesifik (terkait peralatan atau proses) untuk

mengatasi masalah tersebut. Jelaskan dasar ilmiah di balik setiap rekomendasi Anda.

2. **Rancang Proses Saus Salad:** Anda ditugaskan untuk merancang alur proses sederhana untuk pembuatan saus salad tipe *vinaigrette* (emulsi minyak dalam cuka). Buatlah diagram alir proses yang mencakup minimal empat operasi unit yang relevan dari Bab 3 (misalnya, pencampuran, emulsifikasi, dan sebagainya). Untuk setiap operasi, sebutkan tujuan spesifiknya dalam pembentukan produk akhir.

GLOSARIUM BAB

1. **Atrisi:** Mekanisme pengecilan ukuran di mana partikel saling bergesekan satu sama lain atau dengan permukaan keras.
2. **Emulsi:** Sistem dispersi yang terdiri atas dua cairan yang tidak saling larut, di mana satu cairan terdispersi dalam bentuk *droplet* di dalam cairan lainnya.
3. **Emulsifier (Agen Pengemulsi):** Senyawa yang memiliki gugus hidrofilik (suka air) dan lipofilik (suka minyak) yang berfungsi menstabilkan emulsi.
4. **Filtrasi:** Proses pemisahan padatan dari fluida dengan melewatkannya melalui medium penyaring (*filter*).
5. **Homogenitas:** Tingkat keseragaman distribusi komponen dalam suatu campuran.
6. **Impak:** Mekanisme pengecilan ukuran melalui tumbukan berkecepatan tinggi.
7. **Kominusi:** Istilah lain untuk pengecilan ukuran (*size reduction*).
8. **Pengayakan (*Screening*):** Proses pemisahan partikel padat berdasarkan ukuran menggunakan ayakan.
9. **Segregasi:** Kecenderungan partikel padat untuk terpisah kembali setelah dicampur, biasanya karena perbedaan ukuran, bentuk, atau densitas.

10. **Sentrifugasi:** Proses pemisahan komponen berdasarkan perbedaan densitas dengan menggunakan gaya sentrifugal.
11. **Surimi:** Daging ikan lumat yang telah dicuci untuk menghilangkan komponen larut air, digunakan sebagai bahan dasar produk olahan ikan.
12. **Tegangan Antarmuka:** Gaya per satuan panjang yang ada pada antarmuka antara dua fasa cair yang tidak saling larut.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish, A Review. *Foods, 11*(22), 3669.

Augusto, P. E. D. (2021). The use of mixing to improve food processing: A review. *Food Research International, 141*, 110137.

Ben, A., Akeem, S. A., Ndukwu, M., Samuel, N. A., Onyenwigwe, D., Simo-Tagne, M., & Djoukeng, H. (2025). Review of the Mechanisms, Pros and Cons of Some Drying Technologies Applicable to Agricultural Food Products' Processing. *Journal of Food Process Engineering*.

Bouhile, Y., Anaduaka, E., Ezeorba, T., Emmanuel, S. S., Nwuche, C., Okeke, E. S., & Nwankwo, C. (2025). The impact of drying-induced gelatinization on texture and rehydration capacity of starchy foods; a critical consideration for attaining zero hunger. *Food Research International, 225*, 117998.

Coppola, D., Lauritano, C., Esposito, P. F., Riccio, G., Rizzo, C., & De Pascale, D. (2021). Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. *Marine Drugs, 19*(2), 116.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and

quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Kumar, A., & Kumar, N. (2022). Size Reduction. In *Unit Operations in Food Processing*. Springer, Singapore.

Mafe, A. N., Edo, G., Makia, R., Joshua, O. A., Akpoghelie, P. O., Gaaz, T., Jikah, A. N., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ahmed, D. S., Essaghah, A. E., & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances, 5*, 100852.

McClements, D. J. (2023). Advances in food emulsifier research: A review. *Food Hydrocolloids, 139*, 108544.

Sultana, A., Kathuria, A., & Gaikwad, K. K. (2022). Metal–organic frameworks for active food packaging. A review. *Environmental Chemistry Letters, 20*, 1479–1495.

Waqar, M., Sajjad, N., Ullah, Q., Vasanthkumar, S., Ahmed, F., Panpipat, W., Aluko, R., Kaur, L., Chaijan, M., & Ageru, T. A. (2025). Fish By-Products Utilization in Food and Health: Extraction Technologies, Bioactive, and Sustainability Challenges. *Food Science & Nutrition, 13*(1).

Zhou, Y., & Liu, X. (2020). Mechanical separation technologies in food processing. *Journal of Food Engineering, 279*, 109961.

BAB 4
TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN SUHU RENDAH

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Membedakan prinsip dasar antara teknologi pendinginan (*chilling*) dan pembekuan (*freezing*).
2. Menganalisis perubahan-perubahan fisikokimia yang terjadi pada bahan pangan selama proses pembekuan.
3. Menjelaskan dampak pembentukan kristal es terhadap tekstur produk serta perbedaan antara pembekuan cepat dan pembekuan lambat.
4. Mengidentifikasi berbagai metode pembekuan industri dan aplikasi spesifiknya.
5. Memahami praktik-praktik kunci dalam penanganan produk beku, termasuk pelapisan es dan teknik pencairan kembali.
6. Mengevaluasi peran berbagai media pendingin dalam teknologi pendinginan cepat.

7. Menganalisis tantangan dalam manajemen penyimpanan beku, seperti stabilitas suhu dan pencegahan *freezer burn*.

Peta Konsep

Bab ini berfokus pada pemanfaatan suhu rendah sebagai metode pengawetan. Konsep ini terbagi menjadi dua cabang utama. Cabang pertama dan yang paling ekstensif adalah **Dasar Pembekuan**, yang membahas perubahan fisikokimia, mekanisme pembentukan kristal es, serta perbedaan antara pembekuan cepat dan pembekuan lambat. Pemahaman fundamental ini menjadi landasan untuk mempelajari **Metode Pembekuan Industri** yang bersifat praktis, seperti pembekuan udara, pembekuan kontak, dan pembekuan kriogenik.

Setelah produk dibekukan, fokus beralih pada **Penanganan Produk Beku** dan **Manajemen Penyimpanan Beku** untuk menjaga kualitas produk dalam jangka panjang. Cabang utama kedua adalah **Teknologi Pendinginan**, yaitu metode pengawetan yang lebih lembut dengan menurunkan suhu produk hingga berada di atas titik beku. Pembahasan mencakup prinsip pendinginan dan berbagai media yang digunakan.

Pendahuluan

Pernahkah Anda bertanya-tanya bagaimana sepotong ikan salmon dari Norwegia dapat tiba di supermarket lokal dengan kondisi yang nyaris sama segarnya seperti saat ditangkap, atau bagaimana buah beri yang dipanen pada puncak musim panas dapat dinikmati dalam

hidangan penutup di tengah musim dingin? Jawabannya terletak pada salah satu pilar paling fundamental dalam teknologi pengawetan pangan, yaitu penggunaan suhu rendah. Sejak zaman kuno, manusia telah menyadari bahwa suhu dingin dapat memperlambat laju pembusukan. Teknologi modern kemudian menyempurnakan prinsip tersebut menjadi ilmu rekayasa yang presisi, yang memungkinkan kita menghentikan "waktu" bagi bahan pangan, setidaknya untuk sementara.

Pengolahan dengan suhu rendah secara umum terbagi menjadi dua kategori utama: pendinginan (*chilling*), yaitu proses menurunkan suhu produk hingga sedikit di atas titik bekunya, biasanya 0–5 °C, dan pembekuan (*freezing*), yaitu proses menurunkan suhu hingga jauh di bawah titik beku, biasanya -18 °C atau lebih rendah, untuk mengubah sebagian besar kandungan air menjadi es. Keduanya bekerja berdasarkan prinsip yang sama, yaitu memperlambat laju kerusakan. Suhu rendah berfungsi sebagai "rem" yang kuat terhadap reaksi kimia dan enzimatik serta secara drastis menghambat pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme pembusuk. Semakin rendah suhunya, semakin efektif "rem" tersebut bekerja.

Pembekuan merupakan metode pengawetan jangka panjang yang sangat efektif karena melakukan satu hal yang tidak dilakukan oleh pendinginan, yaitu secara drastis mengurangi aktivitas air (a_w) bahan pangan dengan mengikat molekul air dalam bentuk kristal es. Tanpa air yang tersedia, mikroorganisme tidak dapat

tumbuh dan sebagian besar reaksi kimia terhenti. Namun, proses pembentukan es ini merupakan pedang bermata dua. Jika tidak dikendalikan dengan baik, pembentukan kristal es yang besar dan tajam dapat menyebabkan kerusakan fisik yang parah pada struktur sel bahan pangan, sehingga mengakibatkan penurunan kualitas tekstur dan kehilangan cairan ketika produk dicairkan kembali.

Dalam kerangka SIKLUS PANGAN, bab ini secara jelas menyoroti pentingnya sistem rantai dingin yang andal, mulai dari proses pembekuan hingga penyimpanan. Inovasi dalam teknologi pembekuan kriogenik dan metode pendinginan cepat terus mendorong batas kemampuan dalam mempertahankan kualitas produk agar mendekati kondisi segarnya. Dari sisi utilisasi sumber daya, pembekuan memungkinkan pengurangan limbah pangan dengan cara mengawetkan hasil panen musiman yang melimpah. Namun, aspek lingkungan juga menjadi pertimbangan karena proses refrigerasi merupakan proses yang intensif energi dan sering kali menggunakan refrigeran yang berpotensi merusak lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Bab ini akan membawa Anda menyelami dunia pengolahan suhu rendah yang dingin, tetapi dinamis. Kita akan mulai dengan memahami ilmu di balik proses pembekuan, termasuk bagaimana kristal es terbentuk dan dampaknya terhadap bahan pangan. Selanjutnya, kita akan menjelajahi berbagai teknologi yang digunakan industri untuk membekukan produk secara efisien. Setelah itu, kita akan membahas cara menangani dan menyimpan

produk beku dengan benar, sebelum akhirnya beralih ke teknologi pendinginan untuk pengawetan jangka pendek. Memahami bab ini akan memberikan pengetahuan untuk memanfaatkan kekuatan suhu rendah sebagai alat pengawetan yang ampuh.

A. Dasar Pembekuan (*Freezing*)

Pembekuan merupakan salah satu metode pengawetan pangan jangka panjang yang paling efektif dan paling banyak digunakan. Prinsip dasarnya adalah mengubah keadaan fisik air di dalam bahan pangan dari bentuk cair menjadi padat (es). Transformasi ini memiliki dua efek pengawetan utama. Pertama, suhu yang sangat rendah (-18 °C atau lebih rendah) secara drastis memperlambat laju berbagai reaksi kimia dan enzimatik yang menyebabkan penurunan mutu, seperti oksidasi lemak atau pencokelatan enzimatik. Kedua, dan yang paling penting, pembekuan secara signifikan mengurangi aktivitas air (*a_w*) bahan pangan. Dengan mengubah air bebas menjadi kristal es, air tersebut menjadi tidak tersedia bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang biak. Kombinasi suhu rendah dan *a_w* yang rendah ini menciptakan lingkungan yang sangat tidak mendukung bagi bakteri, kapang, dan khamir sehingga secara efektif menghentikan kerusakan mikrobiologis.

Meskipun sangat efektif sebagai metode pengawetan, proses pembekuan bukan tanpa konsekuensi terhadap kualitas produk. Proses transisi air dari bentuk cair menjadi padat melibatkan fenomena fisikokimia yang kompleks yang dapat memengaruhi struktur dan komposisi bahan pangan. Salah satu fenomena yang

paling signifikan adalah pembentukan kristal es. Ukuran, bentuk, dan lokasi kristal es yang terbentuk di dalam jaringan bahan pangan memiliki dampak langsung terhadap kualitas tekstur produk setelah dicairkan kembali (*thawed*). Pembekuan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan mekanis yang parah pada tingkat seluler, yang pada akhirnya mengakibatkan produk menjadi lunak, berair, dan kehilangan banyak cairan.

Selain kerusakan fisik, terjadi pula perubahan kimia selama pembekuan dan penyimpanan beku. Saat air mulai membeku, zat-zat terlarut seperti gula, garam, mineral, dan protein menjadi semakin pekat di dalam sisa air yang belum membeku. Fenomena yang dikenal sebagai "efek konsentrasi" ini dapat menyebabkan perubahan drastis pada sifat larutan air tersebut, seperti penurunan titik beku, peningkatan kekuatan ionik, dan perubahan pH. Kondisi ekstrem ini dapat memicu denaturasi protein dan reaksi kimia lainnya yang tidak diinginkan, yang dapat memengaruhi rasa, warna, dan stabilitas produk.

Oleh karena itu, tujuan teknologi pembekuan yang baik bukan sekadar membuat produk menjadi beku, tetapi melakukannya dengan cara yang dapat meminimalkan perubahan-perubahan yang merusak tersebut. Faktor yang paling krusial dalam mengendalikan kualitas produk beku adalah kecepatan pembekuan. Kecepatan penghilangan panas dari produk akan menentukan ukuran dan jumlah kristal es yang terbentuk, yang pada akhirnya menentukan

tingkat kerusakan struktural. Secara umum, pembekuan yang lebih cepat akan menghasilkan kualitas produk yang lebih baik.

Memahami dasar-dasar ilmiah di balik proses pembekuan merupakan langkah pertama yang esensial sebelum membahas berbagai metode dan teknologi pembekuan. Pengetahuan ini memungkinkan kita untuk memprediksi bagaimana suatu produk akan merespons proses pembekuan dan bagaimana memanipulasi parameter proses untuk memaksimalkan retensi kualitas.

Subbab-subbab berikut akan menguraikan secara lebih rinci perubahan-perubahan fisikokimia yang terjadi, mekanisme pembentukan kristal es dan dampaknya terhadap tekstur, serta perbandingan fundamental antara pembekuan cepat dan pembekuan lambat. Fondasi pengetahuan ini akan menjadi bekal untuk memahami alasan industri pangan modern sangat menekankan teknologi pembekuan cepat.

Analogi/Contoh Kasus

Proses pembekuan bahan pangan dapat diibaratkan seperti proses "hibernasi paksa" untuk mengawetkan sebuah kota yang ramai. Menurunkan suhu seperti memberlakukan jam malam yang sangat ketat, yang secara drastis mengurangi semua "aktivitas" (reaksi kimia dan enzimatik) di kota tersebut. Mengubah air menjadi es seperti mengeringkan semua sungai dan danau di kota sehingga "transportasi" (metabolisme mikroba) menjadi mustahil.

Namun, cara "pembekuan" tersebut sangat penting. Pembekuan lambat seperti membiarkan genangan-genangan air membeku perlahan dan membentuk balok-balok es raksasa yang tidak beraturan di tengah jalan, yang akan menghancurkan aspal dan merusak fondasi bangunan (merusak sel). Sebaliknya, pembekuan cepat seperti menyemprotkan kabut air yang sangat halus pada suhu yang sangat dingin, yang akan membentuk lapisan salju tipis dan kristal-kristal es kecil yang tidak merusak infrastruktur kota. Ketika "musim semi" tiba dan kota "dicairkan" kembali, kota yang dibekukan secara cepat akan kembali normal dengan sedikit kerusakan, sementara kota yang dibekukan secara lambat akan mengalami banyak kerusakan struktural.

1. Perubahan Fisikokimia Selama Proses Pembekuan

Selama proses pembekuan, serangkaian perubahan fisikokimia yang kompleks terjadi. Saat suhu turun di bawah titik beku, air murni mulai membentuk kristal es. Hal ini menyebabkan zat-zat terlarut (*solut*) seperti garam, gula, dan protein menjadi lebih pekat dalam fase air yang tersisa dan belum membeku. Fenomena ini dikenal sebagai *freeze-concentration* atau efek konsentrasi. Peningkatan konsentrasi *solut* ini dapat menyebabkan beberapa perubahan yang merusak, seperti peningkatan kekuatan ionik dan perubahan pH, yang dapat memicu denaturasi protein. Kondisi tersebut menyebabkan protein kehilangan struktur asli dan fungsinya, yang sering kali terlihat sebagai agregasi dan penurunan kapasitas menahan air (Lisboa et al., 2024).

Perubahan fisik lain yang signifikan adalah peningkatan volume. Air merupakan salah satu dari sedikit zat yang memuai saat membeku, dengan peningkatan volume sekitar 9%. Ekspansi volume ini dapat memberikan tekanan pada struktur seluler bahan pangan yang berpotensi menyebabkan kerusakan mekanis. Selain itu, seiring dengan semakin banyaknya air yang membeku, viskositas fase yang tidak membeku meningkat secara dramatis. Kondisi tersebut dapat memperlambat laju reaksi kimia, tetapi juga menghambat transfer panas lebih lanjut ke bagian dalam produk.

2. Pembentukan Kristal Es dan Dampaknya pada Tekstur

Dampak terbesar pembekuan terhadap kualitas, terutama tekstur, berasal dari pembentukan kristal es. Proses ini dimulai dengan nukleasi (pembentukan inti kristal awal), kemudian diikuti oleh pertumbuhan kristal. Lokasi, ukuran, dan jumlah kristal es sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembekuan. Pada pembekuan lambat, nukleasi cenderung terjadi di ruang ekstraseluler (di luar sel), tempat konsentrasi *solut* lebih rendah. Kristal es tersebut kemudian tumbuh menjadi besar dengan menarik air dari dalam sel melalui osmosis (Ali et al., 2022). Proses ini menyebabkan dehidrasi sel dan kerusakan akibat tekanan dari kristal es ekstraseluler yang besar dan tajam.

Ketika produk yang dibekukan secara lambat dicairkan kembali, sel-sel yang rusak dan mengalami dehidrasi tidak mampu menyerap kembali air yang mencair. Akibatnya, sejumlah besar cairan akan keluar dari jaringan, suatu fenomena yang dikenal

sebagai *drip loss* atau kehilangan tetes. Kehilangan ini tidak hanya berarti kehilangan berat, tetapi juga kehilangan nutrisi yang larut dalam air serta menghasilkan tekstur produk yang kering, keras, atau lembek (*mushy*). Oleh karena itu, meminimalkan kerusakan akibat kristal es merupakan tujuan utama teknologi pembekuan.

3. Kecepatan Pembekuan Cepat vs. Lambat

Kecepatan pembekuan merupakan faktor penentu kualitas produk beku. Pembekuan cepat (*rapid freezing*) terjadi ketika produk melewati zona pembentukan kristal es maksimum, sekitar -1 °C hingga -5 °C, dalam waktu yang sangat singkat. Kecepatan pendinginan yang tinggi ini mendorong terjadinya nukleasi secara masif di banyak lokasi, baik di dalam sel (intraseluler) maupun di luar sel (ekstraseluler). Akibatnya, terbentuk sejumlah besar kristal es yang berukuran sangat kecil dan halus (Fathi et al., 2022). Kristal-kristal es kecil tersebut tidak cukup besar untuk menyebabkan kerusakan mekanis yang parah pada dinding sel sehingga struktur jaringan asli lebih terjaga.

Sebaliknya, pembekuan lambat (*slow freezing*) terjadi ketika produk melewati zona kritis dalam waktu yang lama. Kondisi ini hanya memungkinkan terbentuknya sedikit inti kristal, yang kemudian tumbuh menjadi kristal es yang sangat besar, terutama di ruang ekstraseluler. Kristal-kristal besar inilah yang menyebabkan kerusakan seluler yang parah. Hasilnya, produk yang dibekukan secara cepat memiliki kualitas yang jauh lebih baik setelah dicairkan, dengan *drip loss* yang lebih rendah, tekstur yang lebih baik, dan

penampilan yang lebih mirip dengan produk segarnya. Hampir semua teknologi pembekuan komersial modern dirancang untuk mencapai kecepatan pembekuan secepat mungkin.

B. Metode Pembekuan Industri

Untuk mencapai tujuan pembekuan cepat dan menghasilkan produk beku berkualitas tinggi secara konsisten, industri pangan telah mengembangkan berbagai metode dan peralatan pembekuan. Pemilihan metode yang paling sesuai bergantung pada banyak faktor, termasuk jenis dan karakteristik produk (bentuk, ukuran, dan konduktivitas termal), kapasitas produksi yang dibutuhkan, biaya investasi dan operasional, serta standar kualitas akhir yang ingin dicapai. Prinsip dasar di balik semua metode tersebut adalah memaksimalkan laju perpindahan panas dari produk ke media pendingin. Laju perpindahan panas yang tinggi akan menghasilkan kecepatan pembekuan yang cepat.

Secara umum, metode pembekuan industri dapat diklasifikasikan berdasarkan media perpindahan panas yang digunakan. Kategori pertama dan yang paling umum adalah pembekuan dengan media udara, yaitu udara dingin berkecepatan tinggi ditiupkan ke seluruh permukaan produk. Metode ini serbaguna dan dapat digunakan untuk berbagai jenis produk, mulai dari sayuran potong hingga daging unggas utuh. Efisiensinya sangat bergantung pada kecepatan, suhu, dan pola aliran udara yang mengenai produk.

Kategori kedua adalah pembekuan kontak, yaitu produk ditempatkan dalam kontak langsung dengan permukaan logam yang didinginkan oleh refrigeran. Karena logam merupakan konduktor panas yang sangat baik, metode ini menghasilkan perpindahan panas yang sangat cepat dan efisien. Metode ini sangat ideal untuk produk dengan bentuk datar dan seragam, seperti fillet ikan atau blok daging giling, yang dapat memberikan area kontak maksimal dengan permukaan pembeku.

Kategori ketiga adalah metode pembekuan yang paling canggih dan cepat, yaitu pembekuan kriogenik. Metode ini menggunakan zat dengan titik didih yang sangat rendah, seperti nitrogen cair (-196 °C) atau karbon dioksida padat/cair (-78,5 °C), yang disemprotkan langsung ke produk. Perbedaan suhu yang sangat besar antara produk dan zat kriogenik tersebut menghasilkan laju perpindahan panas yang sangat tinggi sehingga proses pembekuan dapat terjadi dalam hitungan menit atau bahkan detik. Meskipun biaya operasionalnya lebih tinggi, metode ini menghasilkan kualitas produk yang sangat baik karena pembentukan kristal es yang sangat halus.

Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. *Air blast freezer* mungkin lebih fleksibel dan ekonomis untuk skala besar, tetapi *plate freezer* lebih efisien secara energi untuk produk yang sesuai. Sementara itu, *cryogenic freezer* menawarkan kualitas premium, tetapi dengan biaya yang lebih tinggi. Seorang insinyur pangan harus mampu menganalisis

kebutuhan spesifik suatu lini produksi untuk dapat merekomendasikan sistem pembekuan yang paling optimal.

Subbab-subbab berikut akan membahas secara lebih detail prinsip kerja, keunggulan, keterbatasan, dan aplikasi tipikal dari ketiga metode pembekuan utama tersebut. Pembahasan ini akan memberikan gambaran praktis tentang bagaimana industri pangan menerapkan prinsip-prinsip dasar pembekuan untuk menghasilkan jutaan ton produk beku setiap tahunnya.

Analogi/Contoh Kasus

Memilih metode pembekuan industri dapat diibaratkan seperti memilih cara untuk mendinginkan secangkir kopi panas. Pembekuan dengan hembusan udara (*air blast freezing*) seperti meniup permukaan kopi. Cara ini umum dan mudah, tetapi mungkin tidak terlalu cepat. Keefektifannya bergantung pada seberapa kencang Anda meniup.

Pembekuan kontak langsung (*plate freezing*) seperti meletakkan dasar cangkir kopi di atas balok es yang besar. Panas akan berpindah dengan sangat cepat dari cangkir ke es melalui konduksi langsung. Metode ini sangat efisien jika dasar cangkir berbentuk datar.

Pembekuan kriogenik seperti menuangkan sedikit nitrogen cair langsung ke dalam kopi. Perbedaan suhu yang ekstrem akan mendinginkan kopi secara sangat cepat. Cara ini merupakan metode yang paling cepat dan "canggih", tetapi juga lebih mahal dan

memerlukan penanganan khusus. Setiap metode efektif, tetapi pilihan metode bergantung pada seberapa cepat kopi ingin didinginkan, bentuk cangkir, dan biaya yang tersedia.

1. Pembekuan dengan Hembusan Udara (*Air Blast Freezing*)

Metode ini merupakan salah satu metode yang paling serbaguna dan banyak digunakan di industri. Prinsipnya adalah mensirkulasikan udara yang sangat dingin, biasanya antara -30 °C hingga -40 °C, dengan kecepatan tinggi, yaitu 1,5 hingga 6,0 m/s, di sekitar produk. Kecepatan udara yang tinggi berfungsi untuk "mengikis" lapisan batas udara hangat yang secara alami terbentuk di sekitar permukaan produk sehingga secara signifikan meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dan mempercepat proses pembekuan (Ali et al., 2022).

Terdapat berbagai jenis *air blast freezer*, termasuk *tunnel freezer*, yaitu produk diletakkan di atas ban berjalan (*conveyor belt*) dan bergerak melalui sebuah terowongan panjang yang di dalamnya dialirkan udara dingin. Untuk produk partikulat kecil seperti kacang polong, jagung, atau buah beri, digunakan *fluidized bed freezer*. Dalam sistem ini, udara dingin ditiupkan dari bawah ke atas melalui produk dengan kecepatan yang cukup untuk membuat partikel-partikel melayang dan bergejolak seperti fluida. Hal ini memastikan setiap partikel terpapar udara dingin secara merata dan membeku secara individual (*Individually Quick Frozen* atau IQF), sehingga mencegah penggumpalan (Fathi et al., 2022).

2. Pembekuan Kontak Langsung (*Plate Freezing*)

Dalam metode ini, produk yang tidak dikemas atau dikemas secara tipis dijepit di antara pelat-pelat logam berongga yang didinginkan dari dalam melalui sirkulasi refrigeran. Perpindahan panas terjadi terutama melalui konduksi dari produk ke permukaan pelat yang dingin. Karena konduktivitas termal logam jauh lebih tinggi daripada udara, metode ini sangat efisien secara termal dan energi serta menghasilkan pembekuan yang cepat (Lisboa et al., 2024).

Plate freezer sangat ideal untuk produk berbentuk persegi atau blok yang seragam, seperti blok fillet ikan, udang, atau daging giling, yang dapat memaksimalkan area kontak. Terdapat dua jenis utama, yaitu *horizontal plate freezer* dan *vertical plate freezer*. Kelemahan utama metode ini adalah kurang fleksibel karena hanya cocok untuk produk dengan bentuk dan ketebalan yang seragam. Produk dengan bentuk tidak beraturan akan memiliki banyak rongga udara yang dapat mengurangi efektivitas perpindahan panas secara signifikan.

3. Pembekuan Kriogenik (Penggunaan Nitrogen Cair)

Pembekuan kriogenik menggunakan gas yang dicairkan, seperti nitrogen cair (*L_N2*) atau karbon dioksida cair (*L_CO2*), sebagai media pendingin yang berkontak langsung dengan produk. Nitrogen cair, dengan titik didih -196 °C, disemprotkan ke produk di dalam sebuah terowongan berinsulasi. Saat berkontak dengan produk yang hangat, *L_N2* akan langsung menguap dan menyerap sejumlah besar energi panas (kalor laten penguapan) dari produk dalam

proses tersebut. Perbedaan suhu yang sangat besar menghasilkan laju pembekuan yang sangat cepat (Singh & Thakur, 2024).

Keuntungan utama pembekuan kriogenik adalah kualitas produk yang sangat baik karena menghasilkan kristal es yang sangat kecil, dehidrasi permukaan yang minimal, dan *drip loss* yang sangat rendah. Metode ini sangat cocok untuk produk bernilai tinggi dan rapuh, seperti udang, *seafood* premium, dan produk-produk siap saji. Namun, kerugian utamanya adalah biaya operasional yang tinggi karena zat kriogenik relatif mahal dan hanya digunakan satu kali, tidak disirkulasikan ulang seperti refrigeran biasa. Biaya investasi peralatannya lebih rendah dibandingkan *blast freezer*, tetapi biaya per kilogram produk yang dibekukan lebih tinggi.

C. Penanganan Produk Beku

Proses pengawetan tidak berhenti begitu saja setelah produk berhasil dibekukan. Faktanya, fase penanganan, penyimpanan, dan distribusi produk beku sama pentingnya dengan proses pembekuan itu sendiri dalam menentukan kualitas akhir yang sampai ke tangan konsumen. Kualitas produk beku yang telah dicapai melalui teknologi pembekuan cepat dapat dengan mudah hilang jika produk tidak ditangani dengan benar. Prinsip utama dalam penanganan produk beku adalah menjaga suhu serendah dan sestabil mungkin, idealnya pada atau di bawah -18 °C, di seluruh rantai dingin beku (*frozen cold chain*).

Salah satu aspek penting dalam penanganan awal setelah pembekuan, terutama untuk produk perikanan, adalah *glazing* atau pelapisan es. Ini merupakan lapisan tipis es protektif yang sengaja dibentuk pada permukaan produk. Lapisan ini berfungsi sebagai tameng yang melindungi produk dari beberapa ancaman utama selama penyimpanan, seperti dehidrasi (sublimasi es dari produk) dan oksidasi lemak yang dapat menyebabkan ketengikan. Tanpa lapisan ini, produk akan lebih rentan terhadap kerusakan kualitas.

Setelah itu, produk memasuki rantai dingin beku. Mirip dengan rantai dingin untuk produk segar, rantai ini mencakup semua tahapan, mulai dari gudang penyimpanan beku di pabrik, transportasi dengan truk atau kontainer berpendingin, hingga lemari pembeku (*freezer*) di toko ritel. Menjaga suhu -18 °C secara konsisten di seluruh mata rantai ini sangat krusial. Fluktuasi suhu, bahkan jika produk tidak sampai mencair, dapat menyebabkan kerusakan kualitas yang signifikan melalui proses yang disebut rekristalisasi, yaitu kristal-kristal es kecil bergabung membentuk kristal yang lebih besar dan lebih merusak.

Tahap terakhir yang sering diabaikan oleh konsumen, tetapi sangat penting, adalah proses pencairan kembali atau *thawing*. Cara produk beku dicairkan memiliki dampak besar terhadap kualitas akhirnya. Pencairan yang salah dapat menyebabkan kehilangan cairan yang berlebihan, penurunan tekstur, dan yang paling berbahaya, memberikan kesempatan bagi bakteri yang sebelumnya dorman selama pembekuan untuk kembali aktif dan berkembang

biak hingga mencapai tingkat yang berbahaya. Oleh karena itu, edukasi konsumen mengenai metode *thawing* yang aman merupakan bagian dari tanggung jawab industri.

Secara keseluruhan, penanganan produk beku berkaitan dengan manajemen risiko dan perhatian terhadap detail. Setiap langkah harus dirancang untuk meminimalkan paparan terhadap suhu yang lebih tinggi serta melindungi produk dari kerusakan fisik maupun kimia. Kelalaian pada salah satu titik dapat merusak investasi yang telah ditanamkan dalam bahan baku dan proses pembekuan.

Analogi/Contoh Kasus

Menangani produk beku dapat diibaratkan seperti menjaga sebuah patung es yang sangat indah dan detail. Proses pembekuan cepat merupakan saat sang seniman memahat patung tersebut dengan sempurna. *Glazing* seperti menyemprotkan lapisan air tipis ke seluruh permukaan patung yang langsung membeku, menciptakan lapisan pelindung transparan yang melindunginya dari goresan dan erosi angin (oksidasi dan dehidrasi).

Rantai dingin beku seperti memindahkan patung tersebut dari satu galeri ke galeri lain menggunakan truk pendingin khusus. Suhu di dalam truk harus tetap sangat dingin dan stabil. Jika suhu naik turun, permukaan patung akan sedikit meleleh dan membeku kembali sehingga detail-detail pahatan yang halus menjadi kasar dan tidak jelas (rekristalisasi).

Thawing merupakan saat patung tersebut akan dipajang. Jika diletakkan langsung di bawah terik matahari (*thawing* cepat pada suhu ruang), patung akan meleleh dengan cepat dan tidak beraturan sehingga meninggalkan genangan air yang besar (*drip loss*). Namun, jika dipindahkan ke ruangan yang sejuk terlebih dahulu (*thawing* di kulkas), patung akan mencair secara perlahan dengan tetap mempertahankan sebagian besar bentuknya.

1. Teknik Pelapisan Es (*Glazing*) pada Produk Perikanan

Glazing adalah proses melapisi produk beku, terutama ikan dan *seafood*, dengan lapisan es tipis. Setelah produk dibekukan, produk disemprot atau dicelupkan sebentar ke dalam air dingin, sekitar 1–2 °C. Air akan membeku pada permukaan produk yang sangat dingin sehingga membentuk lapisan es protektif. Proses ini dapat diulang beberapa kali untuk mendapatkan ketebalan lapisan yang diinginkan. Berat lapisan es ini biasanya berkisar antara 6 hingga 12% dari total berat produk (Ali et al., 2022).

Fungsi utama *glaze* adalah melindungi produk dari dehidrasi akibat sublimasi (perubahan es menjadi uap tanpa melalui fase cair) selama penyimpanan beku, yang dapat menyebabkan *freezer burn*.

Lapisan es ini juga bertindak sebagai penghalang oksigen sehingga memperlambat reaksi oksidasi pada lemak dan pigmen yang dapat menyebabkan ketengikan dan perubahan warna (Waqar et al., 2025). Meskipun melindungi kualitas, praktik *glazing* terkadang disalahgunakan dengan menambahkan lapisan es yang

berlebihan untuk menambah berat jual sehingga regulasi sering kali membatasi persentase *glaze* yang diizinkan.

2. Penanganan Rantai Dingin (*Cold Chain*)

Rantai dingin untuk produk beku menuntut standar yang lebih ketat daripada produk dingin. Suhu standar internasional untuk penyimpanan dan transportasi produk beku adalah -18 °C atau lebih rendah. Pada suhu ini, pertumbuhan semua mikroorganisme patogen berhenti total dan laju reaksi deterioratif menjadi sangat lambat. Menjaga suhu ini secara konstan sangat penting. Fluktuasi suhu, yang dikenal sebagai siklus beku-cair (*freeze-thaw cycles*), bahkan dalam skala kecil, dapat menyebabkan rekristalisasi. Dalam proses ini, kristal-kristal es kecil yang terbentuk selama pembekuan cepat akan meleleh sebagian saat suhu naik dan kemudian membeku kembali pada kristal yang lebih besar saat suhu turun. Pada akhirnya, kondisi ini menyebabkan kerusakan tekstur yang menyerupai pembekuan lambat (Wu & Hsiao, 2021).

Setiap titik dalam rantai, mulai dari gudang pabrik, truk pengangkut, gudang distributor, hingga *freezer* di supermarket, harus mampu menjaga suhu tersebut. Pemantauan suhu menggunakan *data logger* menjadi sangat krusial untuk memastikan tidak terjadi pelanggaran suhu (*temperature abuse*) selama perjalanan. Proses bongkar muat merupakan titik yang paling rentan, sehingga produk harus dipindahkan secepat mungkin untuk meminimalkan paparan terhadap suhu lingkungan.

3. Teknik Pencairan Kembali (*Thawing*) yang Tepat

Thawing atau pencairan kembali merupakan proses yang sama pentingnya dengan pembekuan. Tujuan *thawing* yang baik adalah mencairkan produk dengan cepat, tetapi tetap menjaga suhunya di luar zona bahaya bakteri (di atas 4 °C) sesingkat mungkin. Metode *thawing* yang direkomendasikan untuk keamanan dan kualitas adalah memindahkan produk dari *freezer* ke kulkas dengan suhu 1–4 °C. Meskipun proses ini lambat dan memerlukan waktu berjam-jam atau bahkan berhari-hari, cara ini merupakan metode yang paling aman karena suhu permukaan produk tidak pernah memasuki zona bahaya dan *drip loss* cenderung lebih rendah (Lisboa et al., 2024).

Metode yang lebih cepat termasuk *thawing* dengan air dingin mengalir, dengan syarat produk berada dalam kemasan kedap air, atau menggunakan *microwave* dengan pengaturan *defrost*. Metode yang paling tidak direkomendasikan adalah mencairkan produk pada suhu ruang, misalnya di atas meja dapur. Meskipun cepat, metode ini sangat berisiko karena permukaan produk akan mencapai suhu yang ideal untuk pertumbuhan bakteri sementara bagian dalamnya masih beku. Industri pengolahan pangan terkadang menggunakan metode *thawing* terkontrol seperti *vacuum thawing* atau *microwave thawing* skala industri untuk mempercepat proses persiapan bahan baku beku.

D. Teknologi Pendinginan (*Chilling*)

Berbeda dengan pembekuan yang bertujuan untuk pengawetan jangka panjang, teknologi pendinginan atau *chilling* merupakan metode pengawetan jangka pendek hingga menengah. Prinsipnya adalah menurunkan dan menjaga suhu produk di atas titik bekunya, biasanya dalam rentang 0 °C hingga 8 °C, dengan rentang yang paling umum antara 1 °C hingga 4 °C. Meskipun tidak seekstrem pembekuan, penurunan suhu ini sudah cukup efektif untuk memperlambat sebagian besar proses yang menyebabkan kerusakan pangan. Laju pertumbuhan sebagian besar mikroorganisme pembusuk dan patogen, kecuali beberapa jenis psikrofilik, akan menurun secara signifikan. Laju reaksi enzimatik serta respirasi pada produk hortikultura juga akan melambat.

Teknologi pendinginan memainkan peran yang sangat vital dalam rantai pasok pangan modern, terutama untuk produk-produk segar yang akan dikonsumsi dalam waktu relatif singkat, seperti susu pasteurisasi, yoghurt, daging segar, ikan segar, dan produk-produk olahan siap santap. Pendinginan memungkinkan produk-produk tersebut didistribusikan dari pusat produksi kepada konsumen yang lokasinya jauh dengan tetap menjaga kesegaran, keamanan, dan kualitas sensoriknya. Teknologi ini merupakan salah satu teknologi kunci yang mendukung keberadaan supermarket dan industri jasa boga modern.

Kunci teknologi pendinginan yang efektif adalah kecepatan. Proses penurunan suhu dari suhu panen atau suhu setelah

pemrosesan, misalnya setelah pasteurisasi, menuju suhu penyimpanan dingin harus dilakukan secepat mungkin. Fase pendinginan yang lambat akan memberikan waktu bagi mikroorganisme untuk berkembang biak sebelum suhu mencapai tingkat yang dapat menghambat pertumbuhannya. Oleh karena itu, berbagai teknik pendinginan cepat (*rapid cooling*) telah dikembangkan dengan tujuan menghilangkan panas dari produk seefisien mungkin.

Pemilihan media pendingin merupakan faktor utama yang menentukan kecepatan pendinginan. Udara dingin yang umum digunakan di ruang pendingin sebenarnya bukan media transfer panas yang sangat efisien. Kontak langsung dengan media yang memiliki kapasitas panas dan konduktivitas termal lebih tinggi, seperti air es atau es itu sendiri, akan menghasilkan pendinginan yang jauh lebih cepat. Setiap media memiliki kelebihan dan aplikasinya masing-masing, bergantung pada sifat produk yang didinginkan.

Penerapan teknologi pendinginan secara langsung memperpanjang masa simpan produk. Sebagai contoh, susu segar mentah mungkin hanya bertahan beberapa jam pada suhu ruang, tetapi masa simpannya dapat diperpanjang hingga beberapa hari jika segera didinginkan dan disimpan di kulkas. Perpanjangan masa simpan ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar bagi produsen, distributor, dan pengecer dalam mengelola inventaris mereka serta mengurangi pemborosan pangan.

Namun, penting untuk diingat bahwa pendinginan hanya memperlambat, bukan menghentikan, proses kerusakan. Kualitas produk yang didinginkan akan terus menurun seiring waktu, meskipun dengan laju yang lebih lambat. Oleh karena itu, manajemen rantai dingin yang baik dan prinsip rotasi stok FIFO (*first in, first out*) tetap menjadi kunci utama dalam menangani produk-produk dingin.

Analogi/Contoh Kasus

Teknologi pendinginan dapat diibaratkan seperti menekan tombol *slow motion* pada sebuah film yang sedang diputar. Film tersebut merupakan proses "kehidupan" dan "kerusakan" produk. Tanpa pendinginan, film berjalan dengan kecepatan normal dan adegan "pembusukan" akan tiba dengan cepat. Dengan menekan tombol *slow motion* (mendinginkan produk), semua adegan dalam film, termasuk pergerakan para "aktor" mikroba dan "efek khusus" reaksi kimia, menjadi jauh lebih lambat. Film tersebut masih terus berjalan menuju akhir, tetapi sekarang durasinya menjadi jauh lebih panjang. Semakin efektif metode pendinginan yang digunakan, semakin lambat gerak film tersebut. Namun, tidak seperti tombol "pause" (pembekuan), film ini tidak pernah benar-benar berhenti.

1. Prinsip Pendinginan Cepat (*Rapid Cooling*)

Pendinginan cepat, terkadang disebut juga *pre-cooling* untuk produk hortikultura, merupakan langkah kritis untuk menghilangkan "panas lapangan" (*field heat*) dari produk sesegera mungkin setelah panen. Tujuannya adalah menurunkan laju

respirasi dan metabolisme lainnya dengan cepat, yang jika dibiarkan akan menghasilkan panas internal dan mempercepat kerusakan (M. A. et al., 2024). Prinsipnya adalah menciptakan perbedaan suhu yang besar antara produk dan media pendingin serta menggunakan media yang memiliki koefisien perpindahan panas tinggi.

Kecepatan pendinginan didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mengurangi suhu produk hingga mencapai tingkat tertentu, yang sering kali diukur sebagai "waktu pendinginan tujuh-per-delapan", yaitu waktu yang diperlukan untuk menghilangkan 7/8 dari selisih antara suhu awal produk dan suhu media pendingin. Semakin singkat waktu tersebut, semakin baik kualitas produk yang dapat dipertahankan. Manfaat pendinginan cepat meliputi pengurangan laju kehilangan air, pencegahan pertumbuhan mikroba, dan perpanjangan masa simpan secara keseluruhan.

2. Media Pendingin (Es, Air Es, Udara)

Pemilihan media pendingin sangat memengaruhi efisiensi pendinginan. Udara dingin merupakan media yang paling umum, tetapi paling tidak efisien karena densitas dan kapasitas panasnya rendah. Pendinginan dengan udara paksa (*forced-air cooling*), yaitu udara dingin dipaksa melewati tumpukan produk, lebih cepat daripada pendinginan di ruang diam (*room cooling*). Air dingin (*hydrocooling*) jauh lebih efisien daripada udara karena air memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi. Produk dilewatkan melalui semprotan atau direndam dalam air dingin sehingga menghasilkan

pendinginan yang sangat cepat. Metode ini cocok untuk produk yang tidak sensitif terhadap kelembapan, seperti wortel atau asparagus.

Es, baik dalam bentuk serpihan yang dicampur langsung dengan produk (*icing*) maupun dalam bentuk lumpur es (*ice slurry*), merupakan media pendingin yang sangat efektif. Es memberikan pendinginan yang cepat melalui kontak langsung dan menjaga suhu produk tetap mendekati 0 °C. Kapasitas pendinginan es juga diperkuat oleh kalor laten peleburannya yang besar, yang berarti es dapat menyerap sejumlah besar panas tanpa mengalami kenaikan suhu. Pendinginan vakum (*vacuum cooling*) merupakan metode khusus untuk produk dengan rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, seperti selada, yaitu tekanan diturunkan untuk membuat air dari produk menguap pada suhu rendah sehingga mendinginkan produk dari dalam ke luar dengan sangat cepat.

3. Pengaruh Pendinginan terhadap Masa Simpan Produk Segar

Pengaruh utama pendinginan adalah perpanjangan masa simpan. Aturan praktis yang umum, yang dikenal sebagai prinsip Q10, menyatakan bahwa untuk setiap penurunan suhu sebesar 10 °C, laju sebagian besar reaksi biologis, termasuk respirasi dan pertumbuhan mikroba, akan berkurang sekitar dua hingga tiga kali lipat. Ini berarti produk yang disimpan pada 5 °C secara teoritis akan memiliki masa simpan empat hingga sembilan kali lebih lama daripada produk yang disimpan pada 25 °C.

Namun, pengaruh pendinginan bervariasi antarproduk. Produk hortikultura tropis dan subtropis, seperti pisang, mangga, dan mentimun, rentan terhadap kerusakan dingin (*chilling injury*) jika disimpan pada suhu yang terlalu rendah, tetapi masih di atas titik beku. Gejalanya meliputi pencokelatan permukaan, kegagalan pematangan, dan peningkatan kerentanan terhadap pembusukan. Oleh karena itu, suhu pendinginan optimal harus ditentukan untuk setiap jenis komoditas guna memaksimalkan masa simpan tanpa menyebabkan kerusakan fisiologis (Singh & Thakur, 2024).

E. Manajemen Penyimpanan Beku

Menyimpan produk beku dalam jangka waktu yang lama, terkadang hingga berbulan-bulan atau bahkan lebih dari satu tahun, memerlukan lebih dari sekadar suhu yang rendah. Manajemen penyimpanan beku berkaitan dengan menjaga kualitas produk beku agar tetap prima sejak dimasukkan ke dalam gudang hingga saat akan digunakan. Tantangan utamanya adalah melawan perubahan kualitas yang lambat, tetapi pasti, yang masih dapat terjadi bahkan pada suhu -18 °C. Perubahan tersebut meliputi perubahan fisik, seperti rekristalisasi dan dehidrasi permukaan, serta perubahan kimia, seperti oksidasi lemak dan denaturasi protein. Kunci untuk meminimalkan perubahan tersebut adalah menjaga kondisi penyimpanan seoptimal dan sekonstan mungkin.

Parameter yang paling krusial dalam manajemen penyimpanan beku adalah stabilitas suhu. Seperti yang telah disinggung sebelumnya, fluktuasi suhu merupakan musuh utama

kualitas produk beku. Setiap kali suhu gudang penyimpanan naik, bahkan hanya satu atau dua derajat, laju reaksi deterioratif akan meningkat dan, yang lebih penting, proses rekristalisasi akan terpicu. Seiring waktu, siklus naik-turunnya suhu ini akan menyebabkan kristal es di dalam produk tumbuh menjadi semakin besar sehingga secara progresif merusak tekstur. Oleh karena itu, gudang penyimpanan beku modern dirancang dengan sistem insulasi, refrigerasi, dan kontrol yang sangat canggih untuk menjaga suhu tetap stabil dalam toleransi yang sangat ketat, misalnya ±0,5 °C.

Ancaman besar lainnya selama penyimpanan beku adalah *freezer burn*. Kondisi ini terjadi ketika permukaan produk beku mengalami dehidrasi parah akibat sublimasi es. Area yang terkena *freezer burn* akan tampak kering, keras, pucat, dan memiliki tekstur seperti spons. Meskipun tidak berbahaya dari segi keamanan pangan, *freezer burn* secara drastis menurunkan kualitas sensorik produk sehingga membuatnya tidak menarik dan tidak enak ketika dimasak. Pencegahan *freezer burn* berpusat pada dua strategi utama, yaitu menjaga kelembapan relatif udara di dalam *freezer* setinggi mungkin dan menggunakan bahan pengemas yang tepat.

Peran pengemasan dalam manajemen penyimpanan beku tidak dapat diremehkan. Kemasan bukan hanya berfungsi sebagai wadah, tetapi juga sebagai lapisan pelindung yang vital. Kemasan untuk produk beku harus memiliki sifat penghalang (*barrier*) yang sangat baik terhadap uap air untuk mencegah dehidrasi. Kemasan

juga harus mampu menahan suhu rendah tanpa menjadi rapuh atau pecah serta memberikan perlindungan terhadap kontaminasi dan kerusakan fisik. Pengemasan vakum, yaitu udara dihilangkan dari kemasan sebelum disegel, sangat efektif untuk mencegah *freezer burn* dan oksidasi.

Manajemen penyimpanan beku yang baik merupakan kombinasi dari teknologi fasilitas yang andal, pemilihan material pengemasan yang tepat, dan praktik operasional yang disiplin. Hal ini memastikan bahwa kualitas tinggi yang dicapai melalui proses pembekuan cepat tidak hilang selama periode penyimpanan yang panjang sehingga nilai investasi tetap terjaga dan konsumen menerima produk dengan kualitas terbaik.

Analogi/Contoh Kasus

Jendela Industri: Kasus *Freezer Burn* pada Ekspor Fillet Tuna

Sebuah perusahaan eksportir tuna beku di Indonesia menerima keluhan dari pembeli di Jepang mengenai adanya bercak-bercak putih dan kering pada permukaan beberapa fillet tuna loin mereka, suatu cacat kualitas yang dikenal sebagai *freezer burn*. Setelah melakukan audit, tim kendali mutu menemukan dua penyebab utama. Pertama, pintu gudang penyimpanan beku sering dibiarkan terbuka terlalu lama saat bongkar muat sehingga menyebabkan fluktuasi suhu dan kelembapan di dalam gudang. Kedua, mesin pengemas vakum terkadang tidak berfungsi secara optimal sehingga masih menyisakan sedikit udara di dalam beberapa kemasan. Sisa udara tersebut menciptakan ruang bagi uap air untuk

keluar dari permukaan tuna dan membeku di bagian dalam kemasan (sublimasi).

Sebagai tindakan perbaikan, perusahaan menerapkan SOP yang lebih ketat untuk operasional pintu gudang serta menginvestasikan dana dalam perawatan preventif dan kalibrasi rutin mesin pengemas vakum. Langkah-langkah tersebut berhasil mengurangi insiden *freezer burn* secara drastis dan memulihkan kepercayaan pembeli.

1. Stabilitas Suhu Ruang Penyimpanan Beku

Stabilitas suhu merupakan faktor terpenting dalam menjaga kualitas produk beku selama penyimpanan jangka panjang. Suhu idealnya harus dijaga pada -18 °C atau lebih rendah dengan fluktuasi minimal. Gudang penyimpanan beku yang baik dirancang untuk meminimalkan masuknya panas dari luar. Hal ini mencakup penggunaan panel insulasi tebal, pintu yang menutup rapat dengan tirai udara (*air curtain*), dan dok pemuatan berpendingin untuk proses bongkar muat. Sistem refrigerasi harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani beban panas yang masuk dan dilengkapi dengan sistem *defrost* (pencairan bunga es pada evaporator) yang efisien serta tidak menyebabkan kenaikan suhu ruangan secara signifikan (Wu & Hsiao, 2021).

Pencatatan suhu secara kontinu menggunakan termometer terkalibrasi dan *data logger* merupakan praktik standar. Setiap penyimpangan suhu di luar batas yang ditetapkan harus segera diinvestigasi dan diperbaiki. Penataan produk di dalam gudang juga

harus memungkinkan sirkulasi udara yang baik di sekitar tumpukan palet untuk memastikan suhu yang merata di seluruh ruangan.

2. Mencegah *Freezer Burn* pada Produk

Freezer burn terjadi ketika permukaan produk beku kehilangan kelembapan melalui proses sublimasi. Hal ini merupakan perpindahan massa uap air dari permukaan produk, yang memiliki konsentrasi uap air tinggi, ke udara dingin di dalam *freezer*, yang biasanya sangat kering dan memiliki konsentrasi uap air rendah. Hasilnya adalah lapisan permukaan yang kering, berpori, dan teroksidasi. Kerusakan ini tidak dapat diperbaiki dan secara signifikan menurunkan palatabilitas produk (Lisboa et al., 2024).

Pencegahan *freezer burn* dapat dilakukan dengan beberapa cara. Pertama, menggunakan bahan pengemas yang memiliki laju transmisi uap air (*Water Vapor Transmission Rate* atau WVTR) yang sangat rendah. Bahan seperti plastik polietilen densitas tinggi (HDPE) atau film berlaminasi merupakan pilihan yang baik. Kedua, meminimalkan ruang udara (*headspace*) di dalam kemasan. Pengemasan vakum merupakan cara yang paling efektif untuk tujuan ini. Ketiga, menggunakan teknik *glazing* (pelapisan es) pada produk yang tidak dikemas, yaitu lapisan es akan menyublim terlebih dahulu sebelum es dari produk itu sendiri hilang (Waqar et al., 2025).

3. Pengemasan untuk Produk Beku

Pengemasan memainkan peran multifungsi untuk produk beku. Selain mencegah *freezer burn* seperti yang dijelaskan di atas, kemasan harus kuat dan fleksibel pada suhu rendah. Banyak bahan plastik menjadi rapuh dan mudah pecah pada suhu pembekuan sehingga pemilihan polimer yang tepat sangat penting. Kemasan juga harus melindungi produk dari oksidasi, terutama untuk produk berlemak tinggi. Oleh karena itu, bahan kemasan sering kali juga harus memiliki sifat penghalang oksigen yang baik.

Kemasan harus dapat menahan tekanan fisik selama penumpukan di gudang dan transportasi. Desain kemasan juga harus mempertimbangkan kemudahan penggunaan bagi konsumen, misalnya dengan fitur buka-tutup yang mudah (*resealable*) untuk produk yang digunakan beberapa kali. Informasi pada label, seperti tanggal produksi, tanggal kedaluwarsa, dan instruksi pencairan kembali, juga merupakan bagian penting dari sistem pengemasan produk beku.

Rangkuman Bab

1. Pengolahan suhu rendah dibagi menjadi pendinginan (*chilling*), yaitu penyimpanan di atas titik beku untuk pengawetan jangka pendek, dan pembekuan (*freezing*), yaitu penyimpanan di bawah titik beku untuk pengawetan jangka panjang.
2. Pembekuan mengawetkan makanan dengan cara memperlambat reaksi kimia dan enzimatik serta mengurangi

aktivitas air (*a_w*) dengan mengubah air menjadi es sehingga menghambat pertumbuhan mikroba.

3. Kualitas produk beku sangat ditentukan oleh kecepatan pembekuan. Pembekuan cepat menghasilkan kristal es kecil dengan kerusakan minimal, sedangkan pembekuan lambat menghasilkan kristal es besar yang merusak struktur sel dan tekstur.
4. Metode pembekuan industri meliputi pembekuan dengan hembusan udara (*air blast*), pembekuan kontak (*plate*), dan pembekuan kriogenik, yang dipilih berdasarkan jenis produk, biaya, dan kualitas yang diinginkan.
5. Penanganan produk beku yang tepat melibatkan *glazing* (pelapisan es) untuk perlindungan, penjagaan rantai dingin pada suhu -18 °C secara stabil, serta penerapan teknik *thawing* (pencairan kembali) yang aman.
6. Teknologi pendinginan bertujuan menghilangkan panas produk secepat mungkin menggunakan media seperti udara paksa, air es, atau es untuk memperpanjang masa simpan produk segar.
7. Manajemen penyimpanan beku berfokus pada menjaga stabilitas suhu untuk mencegah rekristalisasi serta menggunakan pengemasan yang tepat untuk mencegah *freezer burn* (dehidrasi permukaan).

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan secara detail mengapa pembekuan cepat menghasilkan produk dengan tekstur yang lebih baik setelah dicairkan dibandingkan dengan pembekuan lambat. Kaitkan jawaban Anda dengan konsep nukleasi, pertumbuhan kristal es, dan lokasi pembentukan es (intraseluler dan ekstraseluler).
2. Bandingkan dan kontraskan tiga metode pembekuan industri, yaitu *air blast freezing*, *plate freezing*, dan *cryogenic freezing*. Untuk setiap metode, jelaskan prinsip kerjanya, satu keunggulan utama, satu kelemahan utama, dan berikan contoh produk yang paling sesuai dengan metode tersebut.
3. Jelaskan fenomena *freezer burn*. Apa mekanisme fisik yang menyebabkannya, dan bagaimana tiga strategi yang berbeda, terkait pengemasan, penanganan, dan kondisi penyimpanan, dapat digunakan untuk mencegahnya?
4. Anda adalah seorang manajer kualitas di sebuah perusahaan *seafood*. Jelaskan mengapa proses *glazing* dan *thawing* merupakan titik kontrol kritis yang sama pentingnya dengan proses pembekuan itu sendiri untuk menjaga kualitas udang beku.
5. Mengapa teknologi pendinginan (*chilling*) tidak cukup untuk pengawetan jangka panjang, meskipun dapat memperpanjang masa simpan secara signifikan? Jelaskan proses-proses

kerusakan yang masih terus berjalan, meskipun melambat, pada produk yang disimpan pada suhu pendinginan.

Soal Pilihan Ganda

1. Fenomena ketika zat terlarut menjadi lebih pekat di dalam air yang belum membeku selama proses pembekuan disebut ....
   a. Sublimasi
   b. Rekristalisasi
   c. Efek konsentrasi (*freeze-concentration*)
   d. Kerusakan dingin (*chilling injury*)
2. Metode pembekuan yang paling ideal untuk menghasilkan produk kacang polong beku yang terpisah satu sama lain (IQF) adalah ....
   a. *Plate freezer*
   b. *Cryogenic freezer* dengan nitrogen cair
   c. *Fluidized bed freezer*
   d. *Sharp freezer* (ruang beku diam)
3. Tujuan utama teknik pelapisan es (*glazing*) pada ikan beku adalah ....
   a. Menambah berat produk secara signifikan
   b. Melindungi produk dari dehidrasi dan oksidasi
   c. Mempercepat proses pencairan kembali
   d. Memberikan rasa asin pada produk

4. Suhu standar internasional yang direkomendasikan untuk penyimpanan dan transportasi sebagian besar produk pangan beku adalah ....

   a. 0 °C
   b. -4 °C
   c. -12 °C
   d. -18 °C

5. Metode pencairan kembali (*thawing*) yang paling aman untuk mencegah pertumbuhan bakteri berbahaya adalah ....

   a. Di atas meja dapur pada suhu ruang
   b. Di dalam kulkas pada suhu 1–4 °C
   c. Direndam dalam air panas
   d. Di dekat jendela yang terkena sinar matahari

6. Kerusakan fisiologis pada pisang yang kulitnya menjadi hitam saat disimpan di kulkas merupakan contoh ....

   a. *Freezer burn*
   b. *Chilling injury*
   c. Rekristalisasi
   d. Denaturasi protein

7. Perpindahan panas pada *plate freezer* terjadi terutama melalui mekanisme ....

   a. Konveksi
   b. Konduksi
   c. Radiasi
   d. Evaporasi

8. Fluktuasi suhu selama penyimpanan beku dapat menyebabkan kristal-kristal es kecil bergabung membentuk kristal yang lebih besar dan merusak. Proses ini disebut ....

   a. Sublimasi
   b. Nukleasi
   c. Rekristalisasi
   d. Kavitasi

9. Media pendingin yang mampu menghilangkan panas paling cepat dari suatu produk adalah ....

   a. Udara diam pada suhu -20 °C
   b. Udara yang bergerak cepat pada suhu -20 °C
   c. Air es pada suhu 0 °C
   d. Nitrogen cair pada suhu -196 °C

10. Pengemasan vakum sangat efektif dalam mencegah *freezer burn* karena ....

    a. Menghilangkan ruang udara tempat terjadinya sublimasi
    b. Membuat kemasan menjadi lebih kuat
    c. Menambah tekanan di dalam kemasan
    d. Membuat produk terlihat lebih menarik

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

Pemilihan Sistem Pembekuan

Sebuah perusahaan ingin meluncurkan lini produk baru berupa *burger patty* daging sapi beku berkualitas premium. Bentuk *patty* adalah bulat dan pipih dengan ketebalan seragam. Kapasitas

produksi yang ditargetkan adalah 500 kg per jam. Anda diminta untuk merekomendasikan satu metode pembekuan industri yang paling sesuai. Berikan justifikasi pilihan Anda berdasarkan efisiensi energi, kecepatan pembekuan, kesesuaian dengan bentuk produk, dan kualitas akhir yang diinginkan.

Investigasi Keluhan Konsumen

Seorang konsumen mengeluh bahwa fillet ikan kakap beku yang dibelinya, setelah dicairkan di kulkas, mengeluarkan banyak sekali air (*drip loss*) dan teksturnya menjadi sangat lembek. Berikan tiga kemungkinan penyebab masalah kualitas yang mungkin terjadi di sepanjang rantai produksi dan distribusi, mulai dari proses pembekuan hingga penanganan di toko. Untuk setiap kemungkinan penyebab, jelaskan mengapa hal tersebut dapat mengakibatkan *drip loss* yang tinggi.

GLOSARIUM BAB

1. **Aktivitas Air (*a_w*)**: Ukuran ketersediaan air dalam bahan pangan untuk reaksi kimia dan pertumbuhan mikroorganisme. Pembekuan secara drastis menurunkannya.
2. **Drip Loss (Kehilangan Tetes)**: Kehilangan cairan dari produk pangan setelah proses pembekuan dan pencairan kembali, biasanya akibat kerusakan sel.
3. **Freezer Burn**: Dehidrasi pada permukaan produk beku yang ditandai dengan bercak kering, keras, dan pucat.
4. **Glazing (Pelapisan Es)**: Aplikasi lapisan es tipis pada permukaan produk beku untuk melindunginya selama penyimpanan.
5. **IQF (*Individually Quick Frozen*)**: Proses pembekuan cepat ketika setiap unit produk, misalnya butiran jagung, dibekukan secara terpisah.
6. **Kerusakan Dingin (*Chilling Injury*)**: Kerusakan fisiologis yang terjadi pada beberapa produk hortikultura, biasanya produk tropis, akibat suhu rendah di atas titik beku.
7. **Kriogenik**: Berkaitan dengan suhu yang sangat rendah. Pembekuan kriogenik menggunakan zat seperti nitrogen cair.
8. **Nukleasi**: Tahap awal pembentukan kristal es, ketika molekul-molekul air mulai berkumpul membentuk inti kristal yang stabil.

9. **Pembekuan (*Freezing*)**: Proses penurunan suhu produk hingga di bawah titik beku air sehingga sebagian besar air berubah menjadi es untuk pengawetan jangka panjang.
10. **Pendinginan (*Chilling*)**: Proses penurunan suhu produk hingga di atas titik bekunya, biasanya 0–8 °C, untuk pengawetan jangka pendek.
11. **Rekristalisasi**: Proses ketika kristal es kecil dalam produk beku tumbuh menjadi lebih besar selama penyimpanan, terutama akibat fluktuasi suhu.
12. **Sublimasi**: Perubahan fase langsung dari padat (es) menjadi gas (uap air) tanpa melalui fase cair.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish, A Review. *Foods, 11*(22), 3669.

(2024). POST-HARVEST TECHNOLOGIES AND COLD CHAIN MANAGEMENT: A REVIEW. *Plant Archives, 25*(Supplement-1), 447–452.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Kaale, L. D., & Eikevik, T. M. (2021). A review of a new emerging food freezing technology: The triple-point of water freezing technology. *Foods, 10*(10), 2452.

Lisboa, H., Pasquali, M. B., Anjos, A. I. M. D., Sarinho, A., De Melo, E. D., Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A. (2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability, 16*(18), 8223.

M. A., Sri, K., Lokesh, M., Deepthi, N., & Malleswari, M. (2024). Postharvest Management Techniques for Improved Shelf Life of Horticultural Crops: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(1), 59–72.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2021). Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20*(5), 4096–4125.

Singh, S., & Thakur, R. (2024). Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology, 207*, 112694.

Sun, D. W., & Zheng, L. (2022). Innovations in food freezing. In *Handbook of Food Freezing*. CRC Press.

Waqar, M., Sajjad, N., Ullah, Q., Vasanthkumar, S., Ahmed, F., Panpipat, W., Aluko, R., Kaur, L., Chaijan, M., & Ageru, T. A. (2025). Fish By-Products Utilization in Food and Health: Extraction Technologies, Bioactive, and Sustainability Challenges. *Food Science & Nutrition, 13*(1).

Wu, J., & Hsiao, H. (2021). Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. *Food Control, 120*, 107501.

Zhang, M., & Li, L. (2023). Ice crystallization and recrystallization in frozen foods: A review. *Trends in Food Science & Technology, 138*, 261–274.

BAB 5
TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN SUHU TINGGI

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip-prinsip perpindahan panas dan pengaruhnya terhadap inaktivasi mikroba serta enzim.
2. Mendefinisikan dan menerapkan konsep *D-value* dan *Z-value* dalam perhitungan proses termal.
3. Menganalisis dampak pengolahan panas terhadap komponen gizi bahan pangan.
4. Membedakan tujuan dan prosedur antara *blanching*, pasteurisasi, dan sterilisasi.
5. Memahami prinsip kerja dan aplikasi teknologi ekstrusi dan penggorengan.
6. Mengevaluasi risiko keamanan pangan spesifik yang terkait dengan proses suhu tinggi, seperti botulisme.
7. Menganalisis kualitas minyak goreng dan mekanisme degradasinya selama proses penggorengan.

Peta Konsep

Bab ini mengeksplorasi penggunaan panas sebagai alat pengawetan, dimulai dari fondasi teoretisnya, yaitu **Prinsip Termal dalam Pengolahan**. Konsep ini membahas tujuan utama penggunaan panas untuk menginaktivasi enzim dan mikroba, memperkenalkan parameter kinetika kematian mikroba (*D-value* dan *Z-value*), serta menelaah dampak panas terhadap nilai gizi. Dari prinsip tersebut, pembahasan beralih ke aplikasi praktis dengan intensitas panas yang meningkat, mulai dari perlakuan ringan seperti *blanching* dan pasteurisasi hingga perlakuan panas tinggi untuk pengawetan jangka panjang melalui sterilisasi dan pengalengan.

Bab ini kemudian membahas dua teknologi suhu tinggi yang juga mengubah bentuk dan karakteristik produk, yaitu **Teknologi Ekstrusi** dan **Teknologi Penggorengan**, yang masing-masing memiliki mekanisme dan aplikasi yang unik.

Pendahuluan

Jika pada bab sebelumnya kita telah menjelajahi bagaimana suhu rendah dapat berfungsi sebagai "tombol jeda" untuk memperlambat laju kerusakan pangan, maka pada bab ini kita akan beralih ke kutub yang berlawanan dan mempelajari bagaimana suhu tinggi dapat berfungsi sebagai "tombol *reset*". Penggunaan panas merupakan salah satu metode pengawetan pangan tertua dan paling andal yang dikenal manusia. Sejak penemuan api, manusia secara intuitif memahami bahwa memasak makanan tidak hanya membuatnya

lebih enak dan mudah dicerna, tetapi juga membuatnya lebih awet. Ilmu pangan modern telah mengubah praktik kuno ini menjadi suatu disiplin rekayasa yang sangat terkontrol, yang dikenal sebagai pengolahan termal.

Tujuan utama pengolahan dengan suhu tinggi adalah menghancurkan atau menginaktivasi agen biologis yang menyebabkan pembusukan dan penyakit, yaitu mikroorganisme (bakteri, kapang, khamir) dan enzim endogen. Dengan menerapkan panas dalam kombinasi waktu dan suhu yang terkontrol, kita dapat mencapai tingkat keamanan dan stabilitas produk yang tidak dapat dicapai dengan metode lain. Kondisi tersebut memungkinkan produk disimpan selama berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun pada suhu ruang. Produk seperti susu UHT, sarden kalengan, dan kornet merupakan bukti nyata dari kekuatan teknologi ini.

Namun, penerapan panas merupakan suatu tindakan penyeimbangan yang rumit. Di satu sisi, kita ingin menerapkan panas yang cukup untuk mencapai target keamanan mikrobiologis, suatu kondisi yang dikenal sebagai "sterilitas komersial". Di sisi lain, panas merupakan agen yang tidak selektif. Selain menghancurkan mikroba, panas juga dapat merusak komponen kualitas yang diinginkan dalam makanan, seperti vitamin yang sensitif terhadap panas, pigmen yang memberikan warna cerah, serta senyawa yang menciptakan rasa dan aroma khas. Terlalu sedikit panas akan menghasilkan produk yang tidak aman, sedangkan terlalu banyak

panas akan menghasilkan produk yang aman, tetapi memiliki kualitas sensorik dan gizi yang buruk.

Dalam kerangka SIKLUS PANGAN, pengolahan termal secara langsung berdampak pada kualitas dan keamanan produk. Tantangan utamanya adalah memaksimalkan keamanan sambil meminimalkan degradasi kualitas. Inovasi di bidang ini berfokus pada pengembangan sistem pemanasan yang lebih cepat dan efisien, seperti pemanasan ohmik atau gelombang mikro, yang dapat mengurangi total paparan panas yang diterima produk. Dari sisi utilisasi sumber daya, proses termal sering kali sangat intensif energi sehingga efisiensi menjadi kunci. Aspek sistem sangat terlihat dalam proses pengalengan, ketika integritas kemasan hermetis sama pentingnya dengan proses pemanasan untuk mencegah rekontaminasi.

Bab ini akan mengupas ilmu dan teknologi di balik pengolahan suhu tinggi. Kita akan memulai dengan prinsip-prinsip fundamental tentang bagaimana panas membunuh mikroba dan dampaknya terhadap makanan. Kemudian, kita akan membahas spektrum proses termal, mulai dari yang paling ringan seperti *blanching* hingga yang paling intens seperti sterilisasi. Terakhir, kita akan menjelajahi teknologi suhu tinggi lain yang juga mengubah bentuk dan tekstur produk secara dramatis, yaitu ekstrusi dan penggorengan. Penguasaan materi ini akan memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana panas dapat

dimanfaatkan secara cerdas untuk menciptakan produk pangan yang aman, stabil, dan berkualitas.

A. Prinsip Termal dalam Pengolahan

Pengolahan termal, atau pemrosesan panas, didasarkan pada prinsip sederhana bahwa semua organisme hidup memiliki rentang suhu optimal untuk pertumbuhan dan rentang suhu letal (mematikan) di atasnya. Ketika bahan pangan dipanaskan melebihi suhu maksimum yang dapat ditoleransi oleh mikroorganisme atau enzim, komponen seluler kritis seperti protein dan asam nukleat akan mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Kondisi tersebut menyebabkan kematian sel atau inaktivasi enzim. Efektivitas proses pemanasan tidak hanya ditentukan oleh suhu yang dicapai, tetapi juga oleh lamanya waktu produk berada pada suhu tersebut. Kombinasi antara suhu dan waktu inilah yang menjadi parameter kunci dalam merancang setiap proses termal.

Tujuan utama pengolahan termal adalah mencapai tingkat reduksi spesifik dari populasi mikroorganisme target yang menjadi perhatian utama dari segi keamanan atau pembusukan. Mikroorganisme yang berbeda memiliki tingkat ketahanan panas yang berbeda pula. Spora bakteri, misalnya, jauh lebih tahan panas daripada sel vegetatifnya. Oleh karena itu, perancangan proses termal untuk produk berisiko tinggi, seperti makanan kaleng berasam rendah, didasarkan pada kemampuan untuk menghancurkan spora bakteri patogen yang paling tahan panas, yaitu *Clostridium botulinum*. Dengan memastikan bahwa spora

yang paling kuat pun dapat dihancurkan, mikroorganisme lain yang kurang tahan panas juga akan ikut hancur.

Proses perpindahan panas dari media pemanas, seperti uap atau air panas, ke dalam produk pangan juga merupakan prinsip fisika yang sangat penting. Panas dapat berpindah melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi merupakan perpindahan panas melalui material padat, sedangkan konveksi merupakan perpindahan panas melalui pergerakan fluida. Pada produk pangan cair seperti jus, konveksi biasanya menjadi mekanisme dominan dan relatif cepat. Namun, pada produk padat atau kental seperti daging dalam kaleng, panas harus merambat secara perlahan dari dinding kaleng ke pusat geometris produk melalui konduksi. Titik di dalam kemasan yang paling lambat mencapai suhu target ini disebut "titik dingin" (*cold spot*). Seluruh jadwal proses pemanasan harus dirancang untuk memastikan bahwa titik dingin tersebut menerima perlakuan panas yang cukup.

Pemahaman mengenai laju kematian mikroba pada berbagai suhu merupakan inti dari ilmu pengolahan termal. Kematian mikroba akibat panas mengikuti kinetika orde pertama, yang berarti bahwa dalam interval waktu yang konstan pada suhu konstan, persentase populasi mikroba yang mati akan selalu sama. Konsep ini memungkinkan kita menghitung dan memprediksi efektivitas suatu proses termal secara matematis sehingga seni memasak dapat dikembangkan menjadi ilmu rekayasa yang presisi.

Namun, seperti yang telah disinggung, panas juga memengaruhi komponen nonmikroba dalam makanan. Nilai gizi, terutama vitamin yang larut dalam air seperti vitamin C dan tiamin serta vitamin yang sensitif terhadap panas, dapat mengalami degradasi yang signifikan. Reaksi kimia seperti reaksi Maillard (pencokelatan nonenzimatik) dan karamelisasi juga dapat terjadi. Reaksi tersebut dapat diinginkan pada beberapa produk, misalnya pembentukan kerak roti, tetapi tidak diinginkan pada produk lain, misalnya perubahan warna pada susu steril.

Oleh karena itu, optimisasi proses termal berkaitan dengan upaya menemukan "jendela proses" yang ideal. Jendela tersebut merupakan kombinasi suhu dan waktu yang cukup untuk mencapai target keamanan mikrobiologis, tetapi cukup singkat untuk meminimalkan kerusakan kualitas sensorik dan nutrisi. Teknologi pengolahan termal modern, seperti *High Temperature Short Time* (HTST), dirancang berdasarkan prinsip ini, yaitu menggunakan suhu yang sangat tinggi dalam waktu yang sangat singkat untuk memaksimalkan laju kematian mikroba yang sangat sensitif terhadap kenaikan suhu sekaligus meminimalkan degradasi kualitas yang relatif kurang sensitif terhadap kenaikan suhu.

Prinsip-prinsip tersebut merupakan fondasi untuk memahami berbagai aplikasi pengolahan panas. Dengan memahami mengapa dan bagaimana panas bekerja, kita dapat lebih mengapresiasi kompleksitas di balik sebotol susu pasteurisasi atau sekaleng sup yang aman dan stabil.

Analogi/Contoh Kasus

Merancang proses termal dapat diibaratkan seperti proses mencetak sebuah foto dari negatif film di dalam kamar gelap menggunakan bahan kimia. "Mikroba" adalah area negatif film yang tidak terekspos yang ingin kita hilangkan sepenuhnya untuk mendapatkan gambar yang jernih. "Kualitas gizi dan sensorik" adalah detail dan warna pada gambar yang ingin kita pertahankan.

Proses pemanasan seperti mencelupkan film ke dalam larutan pengembang (*developer*). Jika dicelupkan terlalu sebentar (kurang panas), beberapa area hitam tidak akan hilang dan gambar akan tampak kusam (tidak aman). Jika dicelupkan terlalu lama (terlalu panas), semua area hitam memang akan hilang, tetapi bahan kimia juga akan mulai "membakar" atau memudarkan detail dan warna gambar yang sudah bagus (kualitas menurun).

Seorang fotografer ahli mengetahui dengan tepat berapa lama film harus dicelupkan pada suhu larutan tertentu untuk mendapatkan hasil yang sempurna. Demikian pula, seorang ahli teknologi pangan menggunakan perhitungan kinetika, seperti *D-value* dan *Z-value*, untuk menemukan "waktu pengembangan" yang presisi agar "negatif" mikroba hilang tanpa "membakar" kualitas produk.

1. Inaktivasi Enzim dan Mikroba melalui Panas

Panas menyebabkan inaktivasi mikroorganisme dan enzim melalui denaturasi protein dan asam nukleat. Protein, yang berfungsi

sebagai komponen struktural dan fungsional serta sebagai enzim, memiliki struktur tiga dimensi spesifik yang sangat penting bagi aktivitasnya. Panas menyebabkan getaran atom yang memutuskan ikatan-ikatan lemah, seperti ikatan hidrogen, yang menstabilkan struktur tersebut. Akibatnya, protein "terbuka" atau terdenaturasi dan kehilangan fungsinya secara permanen. Demikian pula, panas dapat merusak struktur DNA dan RNA mikroba sehingga mengganggu proses replikasi dan sintesis protein yang vital bagi kelangsungan hidup sel (Mafe et al., 2024).

Efektivitas panas dalam membunuh mikroba juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain selain suhu dan waktu. Kehadiran air sangat penting; panas lembap, seperti uap, jauh lebih efektif daripada panas kering karena air memfasilitasi proses denaturasi. Komposisi produk juga berpengaruh. Kandungan lemak, protein, dan gula yang tinggi dapat memberikan efek perlindungan terhadap mikroba sehingga memerlukan perlakuan panas yang lebih intens. Sebaliknya, kondisi asam (pH rendah) dapat membuat mikroba lebih rentan terhadap panas sehingga produk asam seperti jus buah memerlukan proses termal yang lebih ringan daripada produk berasam rendah seperti susu atau daging.

2. Konsep Laju Kematian Mikroba (*D-value* dan *Z-value*)

Untuk mengkuantifikasi proses termal, industri pangan menggunakan dua parameter kinetika utama. *D-value* (waktu reduksi desimal) adalah waktu yang dibutuhkan pada suatu suhu

konstan untuk membunuh 90% populasi mikroorganisme target. Nilai tersebut setara dengan reduksi satu siklus logaritmik.

Sebagai contoh, jika suatu bakteri memiliki *D-value* 2 menit pada 121 °C, setiap 2 menit pemanasan pada suhu tersebut akan menyebabkan populasinya berkurang menjadi sepersepuluhnya. Proses sterilisasi komersial sering kali dirancang untuk mencapai reduksi 12-log (12D), yang berarti mengurangi populasi spora *Clostridium botulinum* dari satu triliun (10^{12}) menjadi hanya satu (Lisboa et al., 2024).

Z-value mengukur sensitivitas suatu mikroorganisme terhadap perubahan suhu. *Z-value* didefinisikan sebagai jumlah derajat suhu yang diperlukan untuk mengubah *D-value* sebesar satu faktor sepuluh (satu siklus log). Misalnya, jika suatu mikroba memiliki *Z-value* 10 °C, menaikkan suhu proses sebesar 10 °C akan membuat waktu yang dibutuhkan untuk membunuh 90% populasi (*D-value*) menjadi sepuluh kali lebih singkat. Konsep *Z-value* sangat penting untuk membandingkan efektivitas proses pada suhu yang berbeda dan menjadi dasar bagi pengembangan proses *High Temperature Short Time* (HTST) (Fathi et al., 2022).

3. Dampak Panas terhadap Nilai Gizi Bahan

Penerapan panas, meskipun penting untuk keamanan, sering kali berdampak negatif terhadap kandungan gizi. Vitamin merupakan salah satu komponen yang paling rentan. Vitamin yang larut dalam air, seperti vitamin C (asam askorbat) dan beberapa vitamin B, terutama tiamin/B1 dan folat/B9, bersifat tidak stabil terhadap

panas dan dapat hilang akibat degradasi termal maupun karena larut ke dalam media pemanas, misalnya pada *water blanching*. Vitamin yang larut dalam lemak (A, D, E, K) umumnya lebih stabil terhadap panas, tetapi rentan terhadap oksidasi yang dapat dipercepat oleh suhu tinggi (Ali et al., 2022).

Protein dapat mengalami denaturasi, yang tidak selalu bersifat buruk karena denaturasi ringan dapat meningkatkan daya cerna. Namun, pemanasan yang berlebihan dapat menyebabkan reaksi yang merusak asam amino esensial, seperti lisin, melalui reaksi Maillard. Mineral umumnya stabil terhadap panas dan tidak hancur, tetapi dapat hilang jika larut ke dalam air rebusan yang kemudian dibuang.

Oleh karena itu, strategi untuk meminimalkan kehilangan gizi meliputi penggunaan waktu pemanasan sesingkat mungkin berdasarkan prinsip HTST, penggunaan sedikit air, serta mempertahankan air sisa pemasakan jika memungkinkan, misalnya dalam produk sup kalengan.

B. Proses *Blanching* dan Pasteurisasi

Setelah memahami prinsip-prinsip umum pengolahan termal, kita sekarang akan membahas dua aplikasi yang paling umum untuk perlakuan panas ringan hingga sedang, yaitu *blanching* dan pasteurisasi. Kedua proses ini tidak dirancang untuk mencapai sterilitas komersial, yang berarti produk yang dihasilkan tidak sepenuhnya bebas dari semua mikroorganisme. Sebaliknya, tujuan

keduanya lebih spesifik dan terbatas. Produk hasil *blanching* atau pasteurisasi masih memerlukan metode pengawetan lain, seperti pembekuan, pendinginan, atau pengeringan, untuk mencapai stabilitas jangka panjang. Meskipun demikian, kedua proses tersebut merupakan langkah yang sangat krusial dan sering kali wajib dalam alur produksi berbagai jenis makanan.

Blanching, atau blansir, adalah perlakuan panas singkat yang hampir secara eksklusif diterapkan pada buah-buahan dan sayuran. Tujuan utamanya bukan untuk membunuh mikroorganisme patogen, melainkan untuk menginaktivasi enzim endogen yang dapat menyebabkan penurunan kualitas selama penyimpanan, terutama penyimpanan beku. Enzim seperti peroksidase, katalase, dan polifenol oksidase, jika tidak diinaktivasi, akan terus bekerja bahkan pada suhu beku, meskipun sangat lambat. Aktivitas tersebut dapat menyebabkan perubahan warna, rasa, tekstur, dan hilangnya vitamin seiring waktu. Oleh karena itu, *blanching* merupakan langkah persiapan yang esensial sebelum proses pembekuan atau pengeringan sayuran.

Pasteurisasi, di sisi lain, dinamai menurut ilmuwan Prancis Louis Pasteur, yang menemukan bahwa pemanasan anggur pada suhu sedang dapat mencegah pembusukan tanpa merusak rasanya secara signifikan. Tujuan utama pasteurisasi adalah keamanan pangan, yaitu menghancurkan mikroorganisme patogen (penyebab penyakit) yang mungkin terdapat dalam makanan. Targetnya adalah patogen yang paling tahan panas dan relevan dengan produk

tersebut, misalnya *Coxiella burnetii* dalam susu. Selain tujuan keamanan, pasteurisasi juga memiliki tujuan sekunder untuk mengurangi jumlah mikroorganisme pembusuk sehingga memperpanjang umur simpan produk dalam kondisi pendinginan.

Kedua proses tersebut mewakili suatu kompromi yang cermat antara efektivitas dan retensi kualitas. Panas yang diterapkan cukup untuk mencapai tujuan spesifiknya, yaitu inaktivasi enzim atau penghancuran patogen, tetapi dijaga seminimal mungkin untuk meminimalkan kerusakan terhadap atribut sensorik, seperti rasa, warna, dan tekstur, serta nutrisi produk. Inilah sebabnya susu pasteurisasi masih memiliki rasa yang relatif segar dibandingkan dengan susu UHT (sterilisasi), dan sayuran beku yang telah di-*blanching* masih dapat mempertahankan warna cerah dan tekstur yang baik setelah dimasak.

Validasi atau pembuktian bahwa proses termal telah mencapai tujuannya merupakan langkah yang sangat penting dalam sistem kendali mutu. Untuk *blanching*, pengujian aktivitas enzim sisa sering dilakukan. Untuk pasteurisasi, pengujian mikrobiologis dan pemantauan suhu-waktu secara ketat merupakan prosedur standar. Kegagalan dalam salah satu proses dapat mengakibatkan kerugian ekonomi akibat produk yang cepat rusak atau, yang lebih buruk, risiko kesehatan masyarakat akibat produk yang tidak aman.

Subbab-subbab berikut akan menguraikan lebih lanjut fungsi, prosedur, dan teknik yang digunakan dalam proses *blanching* dan

pasteurisasi serta bagaimana efektivitasnya divalidasi dalam lingkungan industri.

Analogi/Contoh Kasus

Blanching dan pasteurisasi dapat diibaratkan seperti dua jenis "vaksinasi" untuk makanan. *Blanching* seperti memberikan "vaksin" pada sayuran untuk melindunginya dari "penyakit degeneratif" internal yang disebabkan oleh enzim. Proses ini tidak bertujuan untuk melindunginya dari serangan kuman dari luar, tetapi untuk menonaktifkan "sel-sel perusak" dari dalam dirinya sendiri sehingga sayuran dapat "hidup lebih lama" dengan kualitas yang baik saat disimpan atau dibekukan.

Pasteurisasi seperti memberikan vaksinasi pada susu untuk melindunginya dari "penyakit menular" yang disebabkan oleh bakteri patogen. Vaksinasi ini membunuh kuman-kuman berbahaya yang menjadi target sehingga susu aman untuk dikonsumsi. Namun, "kekebalan" tersebut tidak absolut. Produk masih dapat diserang oleh mikroorganisme pembusuk lain jika tidak disimpan di lingkungan yang dingin dan bersih. Keduanya bukan "obat penyembuh total" seperti sterilisasi, melainkan tindakan pencegahan yang spesifik terhadap ancaman tertentu.

1. Fungsi dan Prosedur *Blanching* pada Sayuran

Fungsi utama *blanching* pada sayuran adalah menginaktivasi enzim, terutama peroksidase dan katalase, yang merupakan enzim yang relatif tahan panas. Keberhasilan inaktivasi enzim-enzim tersebut

biasanya menandakan bahwa enzim lain yang kurang tahan panas juga telah inaktif (Fathi et al., 2022).

Fungsi sekundernya meliputi pengurangan jumlah mikroba awal pada permukaan sayuran, pembersihan sisa kotoran, pengeluaran udara yang terperangkap dalam jaringan yang penting untuk proses pengalengan, serta mempertahankan atau bahkan mencerahkan warna hijau pada sayuran seperti brokoli atau buncis.

Prosedur *blanching* yang umum melibatkan pemanasan produk dalam air panas, sekitar 85–100 °C, atau uap jenuh selama waktu yang singkat, biasanya berkisar antara 1–5 menit, bergantung pada jenis dan ukuran sayuran. Setelah tahap pemanasan, produk harus segera didinginkan dengan cepat, biasanya dengan merendamnya dalam air es atau menyemprotnya dengan air dingin. Langkah pendinginan cepat ini sangat penting untuk menghentikan proses pemasakan lebih lanjut yang dapat menyebabkan tekstur menjadi terlalu lunak dan untuk meminimalkan kerusakan akibat panas pada komponen yang sensitif (M. A. et al., 2024).

2. Teknik Pasteurisasi untuk Produk Cair

Pasteurisasi produk cair seperti susu, jus buah, dan bir paling sering dilakukan menggunakan sistem pemanasan kontinu dengan penukar panas pelat (*plate heat exchanger*). Dalam sistem ini, produk cair dipompa melalui celah-celah tipis di antara serangkaian pelat logam. Di sisi lain pelat, media pemanas, seperti air panas,

mengalir berlawanan arah dan memindahkan panas ke produk secara efisien.

Salah satu sistem yang paling umum adalah *High Temperature Short Time* (HTST), di mana susu dipanaskan hingga suhu minimal 72 °C selama 15 detik (Lisboa et al., 2024).

Setelah mencapai suhu dan waktu yang ditentukan di bagian penahan (*holding tube*), produk segera didinginkan kembali hingga suhu di bawah 4 °C. Proses tersebut sering menggunakan sistem regeneratif, yaitu panas dari produk yang keluar digunakan untuk memanaskan produk yang masuk sehingga menghemat energi.

Untuk produk yang lebih kental atau mengandung partikulat, digunakan penukar panas jenis lain, seperti *tubular heat exchanger* atau *scraped-surface heat exchanger*. Pasteurisasi pada produk asam seperti jus jeruk dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah, misalnya 65 °C selama 30 menit, karena lingkungan asam membantu menghambat pertumbuhan mikroba.

3. Validasi Efektivitas Proses Termal

Validasi merupakan proses untuk membuktikan bahwa suatu proses pengolahan termal secara konsisten mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Untuk *blanching*, validasi sering dilakukan dengan menguji aktivitas enzim peroksidase sisa pada produk setelah proses. Uji kualitatif sederhana melibatkan penambahan larutan guaiakol dan hidrogen peroksida pada sampel sayuran. Jika tidak

terjadi perubahan warna menjadi biru, enzim peroksidase dianggap telah inaktif dan proses *blanching* dinilai cukup (Ben, A. et al., 2025).

Untuk pasteurisasi, validasi melibatkan beberapa langkah. Pertama, peralatan, terutama termometer dan pengatur waktu aliran, harus dikalibrasi secara rutin. Kedua, studi distribusi suhu harus dilakukan untuk memastikan produk mencapai suhu target. Ketiga, pengujian mikrobiologis dilakukan pada produk akhir untuk memastikan tidak terdapat patogen target.

Untuk pasteurisasi susu, tes fosfatase sering digunakan. Enzim fosfatase alami dalam susu sedikit lebih tahan panas daripada patogen target sehingga ketiadaan aktivitas fosfatase pada susu pasteurisasi memberikan jaminan bahwa proses telah berhasil membunuh patogen (Mafe et al., 2024).

C. Sterilisasi dan Pengalengan

Jika *blanching* dan pasteurisasi merupakan perlakuan panas yang "moderat", sterilisasi merupakan perlakuan panas yang "ekstrem". Sterilisasi komersial adalah proses termal yang dirancang untuk menghancurkan hampir semua mikroorganisme dan sporanya yang terdapat dalam makanan, terutama mikroorganisme yang mampu tumbuh dalam produk pada kondisi penyimpanan normal (suhu ruang).

Tujuannya adalah menghasilkan produk yang "stabil secara komersial" atau *commercially sterile*. Artinya, produk dapat disimpan dalam wadah tertutup rapat pada suhu ruang selama

periode yang sangat lama, sering kali lebih dari dua tahun, tanpa mengalami pembusukan. Penting untuk dicatat bahwa sterilitas komersial tidak berarti produk benar-benar steril dalam arti absolut atau bebas dari semua bentuk kehidupan. Beberapa spora termofilik yang tidak berbahaya mungkin masih bertahan, tetapi tidak dapat tumbuh pada suhu penyimpanan normal.

Proses sterilisasi hampir selalu dikombinasikan dengan teknologi pengalengan atau pengemasan hermetis. Pengalengan melibatkan penempatan produk makanan ke dalam wadah, biasanya kaleng logam atau stoples kaca, menghilangkan udara dari wadah, dan menutupnya secara rapat (hermetis) untuk mencegah masuknya kembali mikroorganisme dari lingkungan luar setelah proses pemanasan. Kombinasi penghancuran mikroba di dalam produk dan pencegahan rekontaminasi dari luar inilah yang memberikan stabilitas jangka panjang pada produk seperti ikan sarden, buah kalengan, dan sup.

Tantangan terbesar dalam sterilisasi, terutama untuk produk berasam rendah (pH > 4,6) seperti daging, ikan, dan sebagian besar sayuran, adalah keberadaan spora bakteri *Clostridium botulinum*. Spora ini sangat tahan panas dan, jika dibiarkan hidup dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen) di dalam kaleng, dapat berkecambah dan menghasilkan toksin botulinum, salah satu racun paling mematikan yang dikenal manusia, yang menyebabkan penyakit botulisme.

Oleh karena itu, seluruh parameter proses sterilisasi komersial untuk makanan berasam rendah dirancang dengan satu

target utama, yaitu mencapai reduksi minimal 12-log dari populasi spora *C. botulinum* di titik dingin produk.

Untuk mencapai suhu yang cukup tinggi guna menghancurkan spora tahan panas tersebut, biasanya di atas 100 °C, proses pemanasan harus dilakukan di bawah tekanan. Peralatan yang digunakan untuk tujuan ini adalah autoklaf atau *retort*. *Retort* pada dasarnya merupakan bejana tekan besar tempat kaleng yang telah ditutup dipanaskan menggunakan media seperti uap jenuh atau semprotan air panas pada suhu tinggi, misalnya 121,1 °C (250 °F).

Setelah periode pemanasan yang telah dihitung secara cermat, produk kemudian didinginkan dengan cepat di dalam *retort* untuk menghentikan pemasakan lebih lanjut.

Meskipun sangat efektif untuk pengawetan, perlakuan panas yang intens dan lama sering kali berdampak signifikan terhadap kualitas produk. Perubahan tekstur, warna, rasa, dan kehilangan vitamin yang sensitif terhadap panas sering kali lebih nyata pada produk sterilisasi dibandingkan dengan produk pasteurisasi.

Inovasi dalam teknologi sterilisasi, seperti *retort* dengan agitasi, yaitu kaleng diputar selama pemanasan untuk mempercepat perpindahan panas, dan sistem sterilisasi aseptik, yaitu produk dan kemasan disterilkan secara terpisah sebelum digabungkan dalam lingkungan steril, bertujuan mengurangi total paparan panas dan meningkatkan retensi kualitas.

Analogi/Contoh Kasus

Proses sterilisasi dan pengalengan dapat diibaratkan seperti proses mengamankan sebuah "kapsul waktu" biologis. Makanan di dalamnya merupakan "artefak" yang ingin kita awetkan. Proses sterilisasi di dalam *retort* seperti proses fumigasi total dengan gas yang sangat panas dan bertekanan tinggi di dalam sebuah ruangan tertutup.

Tujuannya adalah memusnahkan semua bentuk kehidupan, termasuk "benih" atau "spora" hama yang paling kuat sekalipun yang dapat merusak artefak dari dalam. Proses pengalengan hermetis seperti menyegel ruangan tersebut secara permanen dengan dinding baja setelah proses fumigasi selesai. Segel tersebut memastikan tidak ada hama atau udara dari luar yang dapat masuk kembali untuk merusak artefak.

Kombinasi antara pemusnahan internal dan isolasi eksternal inilah yang memungkinkan "artefak" di dalam kapsul waktu tersebut bertahan dalam kondisi stabil selama bertahun-tahun tanpa pendinginan.

1. Prinsip Pengalengan Makanan Hermetis

Pengalengan merupakan metode pengawetan ketika makanan dikemas dalam wadah yang ditutup secara kedap udara (hermetis). Prinsipnya didasarkan pada dua pilar. Pertama, perlakuan panas yang diterapkan setelah penutupan akan menghancurkan mikroorganisme pembusuk dan patogen di dalam produk. Kedua,

segel hermetis mencegah masuknya kembali mikroorganisme dari lingkungan luar selama penyimpanan (rekontaminasi) (Mafe et al., 2024).

Sebelum ditutup, udara biasanya dihilangkan dari ruang atas kemasan (*headspace*). Proses yang disebut *exhausting* ini penting untuk menciptakan kondisi vakum parsial setelah pendinginan, mengurangi tekanan pada segel, mencegah oksidasi, dan membantu mempertahankan kualitas produk.

Wadah yang digunakan, baik kaleng logam maupun stoples kaca, harus mampu menahan tekanan internal dan eksternal selama proses di dalam *retort* serta memberikan penghalang yang sempurna terhadap gas, uap air, cahaya, dan mikroorganisme. Integritas segel, terutama jahitan ganda (*double seam*) pada kaleng logam, merupakan titik kontrol kritis yang harus diperiksa secara rutin untuk memastikan keamanan produk kalengan (Lisboa et al., 2024).

2. Penggunaan Autoklaf dalam Sterilisasi Komersial

Autoklaf, atau *retort*, merupakan peralatan kunci untuk sterilisasi makanan dalam kemasan. Dengan memanaskan air di dalam bejana tertutup, tekanan uap akan meningkat sehingga suhu pemanasan dapat mencapai jauh di atas titik didih normal air (100 °C). Suhu sterilisasi yang umum digunakan adalah 121,1 °C, yang dicapai pada tekanan uap sekitar 15 psi (*pound per square inch*) di atas tekanan atmosfer (Fathi et al., 2022). Media pemanas yang paling umum

adalah uap jenuh karena sangat efisien dalam memindahkan panas ke permukaan kaleng.

Selama proses, sangat penting untuk mengeluarkan semua udara dari dalam *retort* sebelum memulai waktu proses karena kantong udara dapat menciptakan titik dingin dan menyebabkan pemanasan yang tidak merata.

Setelah periode pemanasan selesai, produk harus didinginkan dengan cepat di bawah tekanan untuk mencegah deformasi atau ledakan kemasan akibat perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar kemasan (*buckling*). *Retort* modern dilengkapi sistem kontrol otomatis yang canggih untuk memantau dan mencatat profil suhu dan tekanan secara akurat selama seluruh siklus proses.

3. Pengendalian Risiko Botulisme pada Produk Kaleng

Botulisme adalah penyakit keracunan makanan yang langka, tetapi serius, yang disebabkan oleh toksin yang dihasilkan oleh bakteri *Clostridium botulinum*. Bakteri ini terdapat di lingkungan dalam bentuk spora yang sangat tahan panas. Spora tersebut dapat bertahan hidup dalam proses pemasakan biasa.

Dalam kondisi yang sesuai, yaitu lingkungan berasam rendah (pH > 4,6), tanpa oksigen (anaerobik), dan suhu yang hangat, spora ini dapat tumbuh dan memproduksi neurotoksin yang sangat kuat (Mafe et al., 2024). Makanan kalengan berasam rendah yang tidak diproses dengan benar menyediakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan *C. botulinum*.

Untuk mengendalikan risiko tersebut, industri pangan menerapkan konsep "*Botulinum Cook*" atau proses 12D. Proses termal harus dirancang sedemikian rupa sehingga memberikan tingkat kematian spora *C. botulinum* yang setara dengan pemanasan selama 2,52 menit pada suhu 121,1 °C di titik dingin produk (nilai F_0 = 2,52 menit) (Lisboa et al., 2024).

Selain perlakuan panas yang memadai, pengendalian pH, yaitu menjaga produk tetap asam di bawah pH 4,6, atau mengurangi aktivitas air merupakan strategi lain untuk mencegah pertumbuhan spora tersebut pada produk yang tidak dapat disterilkan secara penuh.

D. Teknologi Ekstrusi

Teknologi ekstrusi merupakan proses pengolahan suhu tinggi dan tekanan tinggi yang serbaguna serta menggabungkan beberapa operasi unit, seperti pencampuran, pengadonan, pemanasan, pemotongan, dan pembentukan, ke dalam satu proses kontinu. Proses ini telah merevolusi industri makanan ringan, sereal sarapan, makanan hewan, dan produk berbasis pati atau protein lainnya.

Ekstrusi dapat dilihat sebagai sebuah "bioreaktor" suhu tinggi bertekanan, tempat bahan baku mentah dalam bentuk tepung atau bubuk diubah menjadi produk akhir dengan tekstur, bentuk, dan karakteristik yang sepenuhnya baru dalam waktu yang sangat singkat.

Jantung sistem ini adalah mesin ekstruder, yang pada dasarnya terdiri atas sebuah laras (*barrel*) yang di dalamnya terdapat satu atau dua buah sekrup berputar (*screw*). Bahan baku dimasukkan melalui corong umpan (*hopper*) di salah satu ujung laras. Sekrup yang berputar kemudian membawa material maju sepanjang laras.

Saat material bergerak maju, desain sekrup dan konfigurasi laras yang spesifik memberikan gaya geser (*shear*) yang intens, mengadon, dan menekan material. Panas dihasilkan baik dari sumber eksternal, yaitu pemanas pada laras, maupun dari friksi dan gesekan internal di dalam material itu sendiri. Kombinasi panas, geseran, dan tekanan tinggi tersebut memasak material sepenuhnya.

Fitur paling dramatis dari proses ekstrusi terjadi di ujung laras. Material adonan yang panas dan bertekanan tinggi dipaksa keluar melalui lubang kecil yang disebut cetakan (*die*). Saat keluar dari cetakan, terjadi penurunan tekanan yang sangat drastis dan mendadak dari tekanan tinggi di dalam laras menjadi tekanan atmosfer di luar.

Penurunan tekanan tersebut menyebabkan uap air yang terperangkap di dalam matriks adonan menguap dan berekspansi secara eksplosif sehingga menciptakan struktur berongga yang ringan dan renyah, yang menjadi ciri khas produk-produk ekstrusi seperti *puff* jagung atau sereal berbentuk cincin. Proses ini dikenal sebagai *puffing* atau ekspansi.

Teknologi ekstrusi menawarkan banyak keuntungan. Prosesnya sangat cepat, sering kali kurang dari 2 menit dari bahan baku hingga produk jadi, efisien energi, dan menghasilkan sedikit limbah.

Fleksibilitasnya juga sangat tinggi. Dengan mengubah parameter proses seperti suhu, kecepatan sekrup, kadar air umpan, dan bentuk cetakan, berbagai macam produk dengan bentuk, ukuran, tekstur, dan densitas yang berbeda dapat dihasilkan dari bahan baku yang sama.

Proses ini juga dapat meningkatkan daya cerna pati dan protein serta menghancurkan senyawa antinutrisi dan mikroorganisme karena suhu dan tekanan yang tinggi.

Namun, seperti proses suhu tinggi lainnya, ekstrusi juga dapat menyebabkan degradasi beberapa komponen gizi yang sensitif, seperti vitamin dan asam amino lisin. Oleh karena itu, fortifikasi dengan menambahkan vitamin dan mineral sering kali dilakukan setelah proses ekstrusi untuk mengompensasi kehilangan tersebut.

Memahami teknologi ekstrusi membuka wawasan mengenai bagaimana prinsip-prinsip rekayasa termal dan mekanis dapat digabungkan untuk menciptakan produk pangan dengan atribut tekstur yang sepenuhnya baru dan inovatif. Hal ini merupakan contoh bahwa pengolahan tidak hanya mengawetkan, tetapi juga menciptakan nilai.

Analogi/Contoh Kasus

Jendela Industri: Inovasi Sereal Sarapan Berbasis Sorgum di Jawa Timur

Sebuah perusahaan rintisan pangan di Jawa Timur melihat potensi sorgum, serealia lokal yang tahan kekeringan, sebagai alternatif gandum untuk sereal sarapan. Mereka menggunakan teknologi ekstrusi sekrup ganda (*twin-screw extruder*) untuk mengembangkan produk sereal baru.

Tepung sorgum dicampur dengan tepung beras dan sedikit gula, kemudian dimasukkan ke dalam ekstruder. Dengan mengatur suhu laras pada 150 °C dan kecepatan putar sekrup, mereka berhasil memasak adonan secara sempurna. Di ujung ekstruder, mereka memasang cetakan berbentuk bintang.

Saat adonan panas keluar dari cetakan, adonan langsung mengembang (*puff*) menjadi sereal berbentuk bintang yang renyah. Produk tersebut kemudian dilapisi dengan ekstrak cokelat dan dikeringkan.

Teknologi ekstrusi memungkinkan perusahaan mengubah tepung sorgum yang kurang populer menjadi produk bernilai tambah tinggi yang menarik bagi anak-anak, sekaligus mendukung diversifikasi pangan lokal.

1. Prinsip Kerja Mesin Ekstruder

Mesin ekstruder bekerja dengan mengangkut, mencampur, mengadon, dan memasak bahan pangan dalam sebuah laras

menggunakan satu atau dua sekrup yang saling terkait. Konfigurasi sekrup, seperti sudut ulir dan jarak antarulir, dapat divariasikan di sepanjang laras untuk menciptakan zona dengan fungsi berbeda, yaitu zona umpan, zona kompresi, zona pengadonan, dan zona pemasakan. Panas dihasilkan dari gesekan, yaitu energi mekanis yang diubah menjadi energi termal, dan dari pemanas eksternal pada laras (Ben, A. et al., 2025).

Pada ekstruder sekrup ganda (*twin-screw extruder*), dua sekrup yang berputar searah atau berlawanan arah memberikan aksi pencampuran dan pengadonan yang jauh lebih baik daripada ekstruder sekrup tunggal. Hal tersebut membuatnya lebih fleksibel untuk mengolah berbagai jenis bahan baku, termasuk bahan yang berlemak atau lengket. Tekanan yang sangat tinggi, yang dapat mencapai 100–200 atmosfer, dibangun di ujung laras sebelum material keluar melalui cetakan (Ali et al., 2022).

2. Perubahan Fisik Selama Proses Ekstrusi

Selama proses ekstrusi, bahan baku mengalami serangkaian transformasi fisik yang dramatis. Untuk bahan berbasis pati, kombinasi panas, kelembapan, dan gaya geser yang intens menyebabkan gelatinisasi pati, yaitu granula pati membengkak dan pecah sehingga melepaskan molekul amilosa dan amilopektin.

Pada saat yang sama, molekul protein mengalami denaturasi dan membentuk jaringan baru. Molekul pati dan protein tersebut kemudian meleleh dan membentuk adonan viskoelastik yang kontinu (Bouhile et al., 2025).

Saat adonan keluar dari cetakan, penurunan tekanan yang tiba-tiba menyebabkan air yang sangat panas (*superheated water*) di dalam adonan langsung berubah menjadi uap sehingga menyebabkan ekspansi atau *puffing* pada produk. Setelah ekspansi, struktur produk menjadi kaku ketika mendingin dan mengering sehingga menghasilkan tekstur yang renyah. Tingkat ekspansi sangat dipengaruhi oleh suhu, tekanan, dan kadar air adonan.

3. Aplikasi Ekstrusi pada Produk Berbasis Pati/Protein

Aplikasi teknologi ekstrusi sangat luas. Dalam industri makanan ringan, ekstrusi digunakan untuk membuat berbagai produk *puffed snack* dari jagung, beras, atau gandum. Dalam industri sereal sarapan, berbagai bentuk sereal seperti cincin, bola, atau serpihan dibuat melalui proses ini.

Pasta, seperti makaroni dan spageti, juga merupakan produk ekstrusi, meskipun biasanya diproses pada suhu yang lebih rendah dan tidak mengalami ekspansi (*non-puffed*).

Ekstrusi juga digunakan untuk memproduksi pakan ternak dan pakan ikan dalam bentuk pelet. Dalam proses ini, ekstrusi tidak hanya membentuk pelet, tetapi juga memasak bahan dan meningkatkan daya cernanya.

Dalam beberapa tahun terakhir, ekstrusi menjadi teknologi kunci untuk memproduksi analog daging atau *plant-based meat* dari protein nabati, seperti protein kedelai atau kacang polong. Dalam aplikasi tersebut, kondisi ekstrusi diatur untuk mensejajarkan

molekul protein sehingga menciptakan tekstur berserat yang menyerupai daging otot (Waqar et al., 2025).

E. Teknologi Penggorengan (*Frying*)

Penggorengan merupakan salah satu metode pemasakan dan pengolahan suhu tinggi yang paling populer di seluruh dunia. Metode ini dihargai karena kemampuannya menghasilkan produk dengan karakteristik sensorik yang sangat disukai, yaitu warna keemasan, tekstur renyah di luar dan lembut di dalam, serta aroma dan rasa yang khas.

Secara teknis, penggorengan merupakan proses memasak makanan dengan merendamnya dalam minyak atau lemak panas pada suhu yang biasanya berkisar antara 150–190 °C. Minyak panas berfungsi sebagai media perpindahan panas yang sangat efisien sehingga pemasakan dapat berlangsung dengan sangat cepat.

Ketika makanan yang lembap atau mengandung air dicelupkan ke dalam minyak panas, terjadi serangkaian fenomena perpindahan panas dan massa yang kompleks dan simultan. Panas dari minyak dengan cepat ditransfer ke permukaan makanan sehingga suhu permukaan naik dengan cepat melampaui titik didih air. Akibatnya, air pada lapisan permukaan menguap dengan hebat dan menghasilkan gelembung-gelembung uap yang terlihat selama proses penggorengan. Proses penguapan air yang cepat inilah yang

menciptakan lapisan luar yang kering dan renyah, yang dikenal sebagai kerak (*crust*).

Sementara kerak terbentuk di permukaan, panas terus merambat ke bagian dalam makanan melalui konduksi sehingga bagian interior matang. Pada saat yang sama, terjadi perpindahan massa dua arah. Uap air bergerak dari dalam makanan ke luar menuju minyak, sementara minyak panas diserap masuk ke ruang-ruang kosong yang ditinggalkan oleh air yang menguap pada lapisan kerak.

Jumlah minyak yang diserap merupakan faktor kualitas yang penting. Penyerapan minyak yang berlebihan tidak hanya tidak diinginkan dari segi kesehatan, tetapi juga dapat membuat produk terasa berminyak (*greasy*).

Kualitas produk gorengan sangat bergantung pada dua faktor utama, yaitu kondisi proses penggorengan (suhu dan waktu) serta kualitas minyak goreng itu sendiri. Suhu penggorengan harus dikontrol dengan cermat. Suhu yang terlalu rendah akan memperlambat pembentukan kerak sehingga produk menyerap lebih banyak minyak dan menjadi lembek. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat membakar permukaan produk sebelum bagian dalamnya matang.

Minyak goreng bukanlah media yang inert. Pada suhu penggorengan yang tinggi dan dengan adanya paparan oksigen serta air dari makanan, minyak mengalami serangkaian reaksi

degradasi yang kompleks, termasuk hidrolisis, oksidasi, dan polimerisasi.

Reaksi tersebut menghasilkan berbagai senyawa baru yang secara bertahap mengubah sifat fisik dan kimia minyak, seperti peningkatan viskositas, penggelapan warna, penurunan titik asap, serta pembentukan rasa dan bau yang tidak sedap (*off-flavor*). Mengelola kualitas minyak dan mengetahui kapan minyak harus diganti merupakan salah satu tantangan operasional terbesar dalam proses penggorengan skala industri.

Teknologi penggorengan modern, seperti penggorengan vakum (*vacuum frying*), dikembangkan untuk mengatasi beberapa kelemahan penggorengan atmosferik konvensional. Dengan menggoreng pada tekanan rendah atau vakum, titik didih air menurun sehingga proses penggorengan dapat dilakukan pada suhu yang jauh lebih rendah, misalnya di bawah 100 °C. Hal ini secara signifikan dapat mengurangi penyerapan minyak dan lebih baik dalam mempertahankan warna alami serta nutrisi bahan baku, terutama untuk produk buah dan sayuran.

Analogi/Contoh Kasus

Proses penggorengan makanan dapat diibaratkan seperti sebuah "invasi" cepat oleh pasukan minyak panas ke "benteng" makanan yang lembap. Ketika makanan dimasukkan ke dalam minyak, pasukan minyak langsung menyerang "dinding luar" benteng. Mereka dengan cepat mengalahkan "pasukan air" di permukaan dan

memaksa mereka "mengungsi" secara massal dalam bentuk uap atau gelembung.

Proses pengungsian tersebut meninggalkan "struktur dinding" yang kering dan berpori, yang kemudian ditempati oleh sebagian pasukan minyak sehingga membentuk kerak yang kokoh. Sementara itu, "gelombang kejut" dari invasi berupa panas terus merambat ke bagian dalam benteng dan memasak "penduduk" di dalamnya.

Kualitas minyak goreng dapat diibaratkan seperti moral dan disiplin pasukan invasi. Jika pasukan masih segar dan kuat, mereka akan melakukan tugasnya secara efisien. Namun, jika mereka sudah terlalu lelah dan "terdegradasi" setelah banyak pertempuran, kinerjanya akan buruk dan mereka akan meninggalkan kekacauan di dalam benteng berupa rasa tidak enak dan penyerapan minyak berlebih.

1. Mekanisme Penggorengan Dalam (*Deep Frying*)

Penggorengan dalam, atau *deep-fat frying*, merupakan proses ketika makanan terendam seluruhnya dalam minyak panas. Proses ini ditandai oleh laju perpindahan panas konvektif yang tinggi dari minyak ke permukaan makanan.

Begitu makanan masuk ke dalam minyak, lapisan tipis uap air terbentuk di sekitar permukaan yang pada awalnya sedikit mengisolasi produk. Saat pemanasan berlanjut, laju penguapan air

dari dalam melampaui laju masuknya panas dan proses pembentukan kerak dimulai.

Kerak tersebut bersifat renyah karena dehidrasi serta karena gelatinisasi pati dan denaturasi protein yang terjadi pada permukaannya (Mafe et al., 2024).

Struktur pori pada kerak yang terbentuk sangat menentukan jumlah penyerapan minyak. Penyerapan minyak sebagian besar terjadi selama fase pendinginan setelah produk diangkat dari penggorengan. Saat produk mendingin, uap air di dalam pori-pori kerak akan mengembun sehingga menciptakan tekanan vakum parsial yang kemudian menyedot minyak dari permukaan ke dalam struktur kerak (Fathi et al., 2022).

2. Kualitas Minyak Goreng dan Degradasi Lemak

Minyak goreng mengalami degradasi melalui tiga jalur utama.

Pertama, **hidrolisis** terjadi ketika molekul air dari makanan memecah molekul trigliserida (lemak) menjadi asam lemak bebas, di- dan monogliserida. Peningkatan kadar asam lemak bebas (*free fatty acids* atau FFA) akan menurunkan titik asap minyak.

Kedua, **oksidasi** merupakan reaksi antara asam lemak tidak jenuh dan oksigen yang dipercepat oleh panas. Reaksi ini menghasilkan hidroperoksida tidak stabil yang kemudian terurai menjadi berbagai senyawa volatil, yang menyebabkan bau tengik, dan senyawa nonvolatil.

Ketiga, **polimerisasi** terjadi ketika molekul trigliserida yang teroksidasi saling bergabung membentuk molekul yang lebih besar atau polimer. Reaksi ini menyebabkan peningkatan viskositas dan penggelapan warna minyak (Lisboa et al., 2024).

Kualitas minyak goreng harus dipantau secara rutin di industri. Parameter yang diukur meliputi kadar asam lemak bebas (FFA), warna, dan total senyawa polar (*Total Polar Materials* atau TPM), yang merupakan ukuran seluruh produk degradasi nontrigliserida. Banyak negara memiliki peraturan yang menetapkan batas maksimum untuk TPM, biasanya sekitar 25%, pada minyak yang digunakan dalam layanan boga. Setelah batas tersebut terlampaui, minyak harus dibuang.

3. Pengurangan Serapan Minyak pada Produk Gorengan

Mengurangi kandungan lemak pada produk gorengan merupakan salah satu tujuan utama penelitian dan pengembangan saat ini, didorong oleh permintaan konsumen terhadap makanan yang lebih sehat.

Salah satu pendekatan yang efektif adalah menggunakan lapisan adonan (*batter*) atau tepung (*breading*) pada permukaan produk sebelum digoreng. Lapisan tersebut dapat dimodifikasi dengan menambahkan bahan seperti hidrokoloid, misalnya metilselulosa atau *xanthan gum*, atau protein. Bahan-bahan tersebut membentuk film selama penggorengan yang berfungsi sebagai penghalang sehingga mengurangi laju kehilangan air dan penyerapan minyak (Ali et al., 2022).

Pendekatan lain adalah modifikasi proses, seperti menggunakan teknologi penggorengan vakum yang secara inheren menghasilkan produk dengan kandungan minyak lebih rendah. Perlakuan awal pada produk, seperti pengeringan parsial dengan udara panas (*pre-drying*) sebelum digoreng, juga dapat mengurangi waktu penggorengan yang dibutuhkan dan pada akhirnya mengurangi penyerapan minyak.

Setelah penggorengan, menghilangkan minyak berlebih dari permukaan secepat mungkin dengan sentrifugasi atau tiupan udara panas juga merupakan langkah yang efektif.

Rangkuman Bab

1. Pengolahan suhu tinggi bertujuan menginaktivasi enzim dan mikroorganisme dengan mendenaturasi protein serta komponen seluler vital lainnya, dengan efektivitas yang bergantung pada kombinasi suhu dan waktu.
2. Kinetika kematian mikroba dikuantifikasi dengan *D-value* (waktu untuk reduksi 90% populasi pada suhu tertentu) dan *Z-value* (kenaikan suhu yang dibutuhkan untuk mengurangi *D-value* sebesar 10 kali lipat).
3. *Blanching* merupakan perlakuan panas singkat pada sayuran untuk menginaktivasi enzim sebelum dibekukan atau dikeringkan, sedangkan pasteurisasi merupakan perlakuan panas sedang untuk menghancurkan patogen dan memperpanjang umur simpan produk yang didinginkan.

4. Sterilisasi merupakan perlakuan panas intensif, biasanya di dalam autoklaf (*retort*) pada suhu di atas 121 °C, yang dikombinasikan dengan pengemasan hermetis untuk menghasilkan produk yang stabil pada suhu ruang dan aman dari risiko botulisme.
5. Teknologi ekstrusi merupakan proses suhu tinggi dan tekanan tinggi yang memasak serta membentuk adonan berbasis pati/protein dan sering kali menghasilkan produk ringan dan renyah melalui ekspansi (*puffing*) di ujung cetakan.
6. Penggorengan menggunakan minyak panas sebagai media transfer panas yang cepat sehingga menciptakan kerak renyah di permukaan akibat dehidrasi, sementara bagian dalam matang melalui konduksi.
7. Kualitas minyak goreng akan terdegradasi seiring waktu melalui hidrolisis, oksidasi, dan polimerisasi sehingga perlu dimonitor. Penyerapan minyak pada produk dapat dikurangi melalui pelapisan, praperlakuan, atau teknologi penggorengan vakum.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan perbedaan fundamental dalam tujuan, target mikroorganisme/enzim, dan umur simpan produk yang dihasilkan antara proses pasteurisasi HTST pada susu dan sterilisasi komersial pada daging kornet kalengan.

2. Sebuah populasi spora bakteri memiliki *D-value* 3 menit pada 120 °C (D_{120}) dan *Z-value* 10 °C. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai reduksi 6-log pada suhu 130 °C? Tunjukkan perhitungan dan jelaskan logika di balik setiap langkah.
3. Uraikan proses pembentukan kerak renyah dan penyerapan minyak selama proses penggorengan dalam (*deep frying*) kentang stik. Jelaskan mengapa penyerapan minyak sebagian besar terjadi saat produk diangkat dari minyak.
4. Bandingkan dan kontraskan *blanching* dengan air panas dan *blanching* dengan uap. Apa saja kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode terkait dengan kualitas produk akhir dan efisiensi?
5. Jelaskan bagaimana teknologi ekstrusi dapat mengubah tepung jagung menjadi produk *snack* yang mengembang dan renyah. Fokus pada perubahan fisik yang terjadi pada pati dan air di dalam laras ekstruder dan saat keluar dari cetakan.

Soal Pilihan Ganda

1. Parameter yang menggambarkan waktu yang dibutuhkan pada suhu konstan untuk membunuh 90% populasi mikroorganisme adalah ....
   a. *Z-value*
   b. *F-value*
   c. *D-value*

d. *Q10-value*

2. Tujuan utama proses *blanching* pada sayuran sebelum dibekukan adalah ....

   a. Memasak sayuran hingga matang sempurna
   b. Menghancurkan semua spora bakteri
   c. Menginaktivasi enzim peroksidase dan katalase
   d. Menambah rasa asin pada sayuran

3. Proses sterilisasi komersial untuk makanan kalengan berasam rendah dirancang untuk menghancurkan spora bakteri patogen yang paling tahan panas, yaitu ....

   a. *Escherichia coli*
   b. *Salmonella typhimurium*
   c. *Listeria monocytogenes*
   d. *Clostridium botulinum*

4. Teknologi yang menggunakan suhu dan tekanan tinggi untuk memasak dan membentuk sereal sarapan atau makanan ringan adalah ....

   a. Pasteurisasi
   b. Ekstrusi
   c. Homogenisasi
   d. Pengeringan beku

5. Selama penggorengan, peningkatan viskositas dan penggelapan warna minyak goreng terutama disebabkan oleh reaksi ....

   a. Hidrolisis
   b. Karamelisasi gula

c. Polimerisasi
d. Denaturasi protein

6. Titik di dalam kemasan pangan yang paling lambat mencapai suhu target selama proses termal disebut ....

a. Titik panas (*hot spot*)
b. Titik dingin (*cold spot*)
c. Titik didih (*boiling point*)
d. Titik kritis (*critical point*)

7. Proses pasteurisasi susu dengan metode HTST (*High Temperature Short Time*) umumnya menggunakan suhu dan waktu ....

a. 63 °C selama 30 menit
b. 72 °C selama 15 detik
c. 100 °C selama 1 detik
d. 135 °C selama 2 detik

8. Penurunan tekanan secara drastis saat adonan panas keluar dari cetakan ekstruder menyebabkan fenomena ....

a. Gelatinisasi
b. Karamelisasi
c. Ekspansi atau *puffing*
d. Kristalisasi

9. Penggunaan autoklaf atau *retort* dalam sterilisasi memungkinkan pemanasan dilakukan pada suhu di atas 100 °C karena ....

a. Menggunakan media pemanas berupa minyak

b. Proses dilakukan di bawah tekanan tinggi
c. Dinding *retort* terbuat dari logam khusus
d. Produk yang dipanaskan bersifat asam

10. Untuk meminimalkan kehilangan vitamin C selama pengolahan, strategi yang paling efektif adalah ....

a. Menggunakan suhu rendah untuk waktu yang sangat lama
b. Menggunakan suhu sangat tinggi untuk waktu sesingkat mungkin
c. Menambahkan gula dalam jumlah banyak
d. Melakukan pemanasan dalam wadah terbuka

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

Analisis Keluhan Produk Kalengan

Sebuah pabrik pengalengan jagung manis menerima keluhan bahwa beberapa kaleng produk mereka mengalami penggembungan (*swelling*) setelah beberapa bulan disimpan di gudang. Sebagai seorang ahli teknologi pangan, berikan tiga kemungkinan akar penyebab kegagalan proses tersebut. Untuk setiap penyebab, jelaskan mekanisme kegagalannya dan usulkan satu tindakan korektif atau preventif.

Desain Produk *Snack* Sehat

Anda ditugaskan untuk mengembangkan produk keripik ubi jalar yang lebih sehat, dengan kandungan lemak lebih rendah dan retensi warna ungu yang lebih baik dibandingkan dengan produk yang digoreng secara konvensional. Usulkan satu teknologi pengolahan

suhu tinggi, selain penggorengan atmosferik, yang akan Anda gunakan. Jelaskan mengapa teknologi pilihan Anda lebih sesuai untuk mencapai tujuan tersebut dan sebutkan parameter proses kunci yang perlu Anda kendalikan.

GLOSARIUM BAB

1. **Autoklaf (*Retort*)**: Bejana tekan yang digunakan untuk mensterilkan produk pangan dalam kemasan dengan menggunakan uap atau air panas bertekanan tinggi.
2. **Blanching (Blansir)**: Perlakuan panas singkat pada buah dan sayuran untuk menginaktivasi enzim, biasanya sebagai praperlakuan sebelum pembekuan, pengeringan, atau pengalengan.
3. ***D-value* (Waktu Reduksi Desimal)**: Waktu yang diperlukan pada suhu tertentu untuk mengurangi jumlah mikroorganisme sebanyak 90% atau satu siklus log.
4. **Ekstrusi**: Proses ketika bahan dipaksa melalui cetakan (*die*) untuk membentuk produk. Dalam pengolahan pangan, proses ini merupakan proses memasak dengan suhu dan tekanan tinggi.
5. **Gelatinisasi**: Proses pembengkakan dan pecahnya granula pati di dalam air karena pemanasan sehingga menghasilkan larutan yang kental.
6. **Hermetis**: Kondisi penutupan wadah yang kedap udara sehingga mencegah pertukaran gas dan masuknya mikroorganisme.
7. **Pasteurisasi**: Proses pemanasan pada suhu di bawah 100 °C untuk membunuh mikroorganisme patogen dan mengurangi jumlah mikroba pembusuk.

8. **Penggorengan Vakum**: Proses penggorengan yang dilakukan di bawah tekanan rendah sehingga memungkinkan penggunaan suhu yang lebih rendah.
9. **Reaksi Maillard**: Reaksi kimia antara asam amino dan gula pereduksi akibat panas yang menghasilkan warna cokelat dan aroma khas pada banyak makanan yang dimasak.
10. **Sterilisasi Komersial**: Perlakuan panas yang cukup untuk menghancurkan semua mikroorganisme patogen dan pembusuk yang dapat tumbuh dalam makanan pada kondisi penyimpanan normal.
11. **Titik Dingin (*Cold Spot*)**: Titik di dalam sebuah wadah makanan yang paling lambat memanas selama proses termal.
12. ***Z-value***: Jumlah perubahan suhu (°C atau °F) yang diperlukan untuk menyebabkan perubahan satu siklus log (faktor 10) pada *D-value*.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish, A Review. *Foods, 11*(22), 3669.

Ben, A., Akeem, S. A., Ndukwu, M., Samuel, N. A., Onyenwigwe, D., Simo-Tagne, M., & Djoukeng, H. (2025). Review of the Mechanisms, Pros and Cons of Some Drying Technologies Applicable to Agricultural Food Products' Processing. *Journal of Food Process Engineering*.

Bouhile, Y., Anaduaka, E., Ezeorba, T., Emmanuel, S. S., Nwuche, C., Okeke, E. S., & Nwankwo, C. (2025). The impact of drying-induced gelatinization on texture and rehydration capacity of starchy foods; a critical consideration for attaining zero hunger. *Food Research International, 225*, 117998.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Fellows, P. J. (2022). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (5th ed.). Woodhead Publishing.

Lisboa, H., Pasquali, M. B., Anjos, A. I. M. D., Sarinho, A., De Melo, E. D., Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A.

(2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability, 16*(18), 8223.

M. A., Sri, K., Lokesh, M., Deepthi, N., & Malleswari, M. (2024). Postharvest Management Techniques for Improved Shelf Life of Horticultural Crops: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(1), 59–72.

Mafe, A. N., Edo, G., Makia, R., Joshua, O. A., Akpoghelie, P. O., Gaaz, T., Jikah, A. N., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ahmed, D. S., Essaghah, A. E., & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances, 5*, 100852.

Moreira, R. G. (2021). Deep-fat frying of foods: A review of the process, the products, and the oils. *Annual Review of Food Science and Technology, 12*, 103–126.

Tucker, G. S. (2022). Thermal Processing of Foods: Sterilization. In *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (Vol. 3, pp. 293–300). Elsevier.

Van Boekel, M. A. J. S. (2021). The D-value and Z-value in thermal processing: A historical and critical review. *Food Engineering Reviews, 13*, 1–13.

Waqar, M., Sajjad, N., Ullah, Q., Vasanthkumar, S., Ahmed, F., Panpipat, W., Aluko, R., Kaur, L., Chaijan, M., & Ageru, T. A.

(2025). Fish By-Products Utilization in Food and Health: Extraction Technologies, Bioactive, and Sustainability Challenges. *Food Science & Nutrition, 13*(1).

BAB 6
TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN PENGURANGAN AIR

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prinsip dasar perpindahan panas dan massa yang terjadi selama proses pengeringan.
2. Menginterpretasikan kurva laju pengeringan dan mengidentifikasi periode-periode kritisnya.
3. Menganalisis faktor-faktor utama yang memengaruhi efisiensi dan kecepatan proses pengeringan.
4. Membedakan berbagai metode pengeringan industri, mulai dari pengeringan alami hingga mekanis.
5. Memahami prinsip kerja, keunggulan, dan aplikasi teknik pengeringan khusus, seperti pengeringan beku dan pengeringan semprot.
6. Menguraikan mekanisme dan aplikasi teknologi dehidrasi osmotik.

7. Mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi kemampuan rekonstitusi atau rehidrasi produk kering.

Peta Konsep

Bab ini didedikasikan untuk mengeksplorasi teknik pengawetan melalui pengurangan air, sebuah pilar fundamental dalam teknologi pangan. Eksplorasi dimulai dari pemahaman prinsip dasar pengeringan, yang mengupas mekanisme perpindahan panas dan massa, interpretasi kurva laju pengeringan, serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Dari fondasi teoretis ini, pembahasan bergerak ke ranah praktis dengan menelaah berbagai metode pengeringan industri, mulai dari metode tradisional seperti pengeringan matahari hingga teknologi canggih seperti pengeringan semprot. Selanjutnya, bab ini membahas kategori pengeringan khusus dan konsentrasi, yang mencakup teknik-teknik unggul seperti pengeringan beku dan evaporasi. Sebuah metode alternatif yang lebih lembut, yaitu teknologi dehidrasi osmotik, juga dibahas secara mendalam. Akhirnya, pembahasan ditutup dengan evaluasi kualitas produk akhir melalui pembahasan proses rekonstitusi.

Pendahuluan

Air adalah sumber kehidupan, tidak hanya bagi manusia, tetapi juga bagi mikroorganisme yang menyebabkan pembusukan pangan. Bayangkan sebuah anggur segar yang berair dan sebuah kismis yang kering dan keriput. Keduanya berasal dari buah yang sama, tetapi memiliki umur simpan yang sangat berbeda. Perbedaan

fundamental ini terletak pada satu komponen kunci, yaitu kandungan air. Teknologi pengolahan dengan pengurangan air merupakan salah satu metode pengawetan tertua yang dikenal manusia. Metode ini didasarkan pada prinsip sederhana bahwa dengan menghilangkan sebagian besar air dari bahan pangan, kita menciptakan lingkungan yang tidak dapat mendukung pertumbuhan mikroba. Metode ini secara efektif "menghentikan" aktivitas biologis, sehingga memungkinkan produk seperti ikan asin, buah-buahan kering, dan susu bubuk disimpan selama berbulan-bulan pada suhu ruang.

Pengeringan atau dehidrasi adalah proses penghilangan air dari suatu bahan melalui evaporasi (penguapan). Untuk menguapkan air, diperlukan energi dalam bentuk panas. Pada saat yang sama, uap air yang terbentuk harus dipindahkan dari permukaan bahan ke udara di sekitarnya. Oleh karena itu, pengeringan pada intinya merupakan proses perpindahan panas dan massa yang terjadi secara simultan. Keberhasilan suatu proses pengeringan bergantung pada seberapa efisien panas dapat disediakan ke produk tanpa merusaknya dan seberapa cepat uap air yang dihasilkan dapat dievakuasi. Keseimbangan yang rumit antara kedua proses inilah yang menjadi fokus utama dalam rekayasa pengeringan.

Proses pengurangan air tidak hanya bertujuan untuk pengawetan. Pengeringan juga secara signifikan mengurangi berat dan volume produk, yang memberikan keuntungan besar dalam hal

biaya pengemasan, penyimpanan, dan transportasi. Hal ini memungkinkan distribusi produk pangan ke area-area terpencil tanpa memerlukan rantai dingin yang mahal. Selain itu, pengeringan dapat menciptakan produk dengan tekstur dan rasa yang sama sekali baru, seperti keripik buah yang renyah atau kopi instan yang mudah larut, sehingga membuka peluang pasar yang luas.

Menerapkan kerangka SIKLUS PANGAN, teknologi pengeringan sangat menyoroti lensa Utilisasi Sumber Daya. Proses ini memungkinkan pemanfaatan hasil panen yang melimpah pada satu musim untuk dikonsumsi sepanjang tahun sehingga dapat mengurangi limbah pangan secara drastis. Namun, dari lensa Lingkungan, pengeringan mekanis merupakan salah satu operasi yang paling intensif energi dalam industri pangan. Kondisi ini mendorong inovasi berkelanjutan untuk mengembangkan metode yang lebih efisien atau menggunakan sumber energi terbarukan. Aspek Kualitas menjadi sangat krusial karena metode pengeringan yang salah dapat menyebabkan kerusakan parah pada warna, aroma, nutrisi, dan kemampuan produk untuk direhidrasi kembali.

Bab ini akan mengupas ilmu dan teknologi di balik proses pengurangan air. Pembahasan akan dimulai dengan prinsip-prinsip dasar yang mengatur bagaimana air keluar dari bahan pangan. Selanjutnya, berbagai metode pengeringan akan dibahas, mulai dari metode yang paling sederhana hingga yang paling canggih, seperti pengeringan semprot untuk produk cair dan pengeringan beku untuk bahan-bahan yang sensitif. Metode alternatif seperti

dehidrasi osmotik juga akan dibahas. Terakhir, kualitas produk kering akan dilihat berdasarkan kemampuannya untuk kembali menyerap air. Pemahaman yang komprehensif ini akan membekali mahasiswa untuk memilih dan merancang proses pengeringan yang optimal bagi berbagai jenis bahan pangan.

A. Prinsip Dasar Pengeringan (*Drying*)

Pengeringan merupakan operasi unit yang bertujuan mengurangi kandungan air suatu bahan hingga mencapai tingkat yang memungkinkan pertumbuhan mikroba serta reaksi kimia dan enzimatik yang merusak dapat diminimalkan. Proses ini dicapai dengan menciptakan perbedaan potensial uap air antara permukaan produk dan udara di sekitarnya. Secara sederhana, udara pengering harus lebih kering daripada produk itu sendiri agar terjadi perpindahan massa berupa air dari produk ke udara. Untuk mempercepat proses ini, energi panas ditambahkan ke produk yang berfungsi menyediakan kalor laten penguapan yang dibutuhkan untuk mengubah air dari fase cair menjadi fase uap. Oleh karena itu, pengeringan merupakan proses perpindahan panas dan massa yang saling berkaitan erat dan terjadi secara bersamaan.

Kecepatan dan efisiensi pengeringan sangat bergantung pada keseimbangan antara laju perpindahan panas ke produk dan laju perpindahan massa uap air dari produk. Jika panas diberikan terlalu cepat, sementara uap air tidak dapat keluar dengan cukup cepat, suhu produk dapat meningkat secara drastis dan menyebabkan kerusakan, seperti gosong, pengerasan permukaan (*case*

hardening), atau degradasi komponen gizi dan sensorik. Sebaliknya, jika perpindahan massa uap air sangat efisien, tetapi pasokan panas terbatas, suhu produk akan menurun akibat efek pendinginan evaporatif. Kondisi ini akan memperlambat laju pengeringan secara keseluruhan.

Mekanisme pergerakan air di dalam produk selama pengeringan juga sangat kompleks. Pada tahap awal, ketika produk masih sangat basah, air bebas di permukaan akan menguap seolah-olah tidak terdapat padatan di sana. Saat permukaan mulai mengering, air dari bagian dalam produk harus bergerak ke permukaan untuk menggantikan air yang menguap. Pergerakan air internal ini dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, seperti aliran kapiler, difusi cairan akibat gradien konsentrasi, dan difusi uap melalui pori-pori produk. Mekanisme yang dominan bergantung pada struktur fisik dan komposisi bahan itu sendiri.

Seiring dengan berkurangnya kandungan air, air yang tersisa akan semakin sulit dihilangkan. Air tersebut mungkin terikat secara fisik di dalam kapiler-kapiler kecil atau terikat secara kimia pada molekul seperti protein dan karbohidrat. Diperlukan energi yang lebih besar dan waktu yang lebih lama untuk menghilangkan air terikat dibandingkan dengan air bebas. Fenomena inilah yang menjelaskan mengapa laju pengeringan tidak konstan selama proses berlangsung, melainkan melambat seiring dengan semakin keringnya produk.

Karakteristik proses pengeringan untuk setiap bahan pangan biasanya digambarkan dalam sebuah kurva laju pengeringan. Kurva ini memetakan hubungan antara laju pengeringan, yaitu jumlah air yang dihilangkan per satuan waktu, dengan kandungan air produk. Memahami bentuk kurva ini sangat penting bagi para insinyur pangan karena memberikan informasi vital untuk merancang siklus pengeringan yang optimal, memprediksi waktu pengeringan, dan mengendalikan kualitas produk akhir.

Efisiensi pengeringan juga dipengaruhi oleh banyak faktor eksternal, seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan aliran udara pengering. Suhu yang lebih tinggi dan kelembapan yang lebih rendah akan meningkatkan gradien potensial uap air sehingga mempercepat pengeringan. Kecepatan udara yang lebih tinggi akan menyapu lapisan batas udara jenuh di permukaan produk sehingga memfasilitasi perpindahan massa. Mengoptimalkan parameter-parameter tersebut merupakan kunci untuk mencapai pengeringan yang cepat dan efisien secara energi.

Analogi/Contoh Kasus

Proses pengeringan bahan pangan dapat diibaratkan seperti proses evakuasi besar-besaran penduduk dari sebuah kota yang padat. “Penduduk” adalah molekul-molekul air, sedangkan “kota” adalah struktur bahan pangan. Proses evakuasi dimulai. Pada tahap awal, penduduk yang berada di “jalan-jalan utama” di pinggir kota, yaitu air permukaan, dapat keluar dengan sangat mudah dan cepat. Kondisi ini menggambarkan periode laju pengeringan konstan.

Namun, seiring berjalannya waktu, evakuasi menjadi lebih sulit. Penduduk yang tersisa berada di dalam “gang-gang sempit” dan “bangunan-bangunan” di pusat kota, yang menggambarkan air internal dan air terikat. Mereka harus bergerak melalui kerumunan dan jalanan yang macet untuk mencapai pinggir kota, yang menggambarkan proses difusi internal. Laju evakuasi pun melambat secara drastis, sebagaimana terjadi pada periode laju pengeringan menurun.

Suhu dan aliran udara pengering dapat diibaratkan sebagai “polisi lalu lintas” dan “sistem transportasi publik” yang disediakan. Semakin banyak polisi yang mengatur lalu lintas, yang dianalogikan sebagai suhu tinggi, dan semakin banyak bus yang tersedia, yang dianalogikan sebagai aliran udara cepat, semakin cepat proses evakuasi berlangsung.

1. Mekanisme Perpindahan Panas dan Massa

Selama pengeringan, panas harus ditransfer dari udara pengering ke produk. Mekanisme utama transfer panas ini adalah konveksi dari udara ke permukaan produk. Setelah mencapai permukaan, panas harus ditransfer ke bagian dalam produk melalui konduksi untuk menguapkan air di dalamnya. Pada saat yang sama, terjadi perpindahan massa. Uap air yang terbentuk di dalam produk harus bergerak ke permukaan, biasanya melalui difusi. Dari permukaan, uap air kemudian dipindahkan ke aliran udara pengering melalui konveksi massa (Ben, A. et al., 2025).

Kedua proses ini saling berkaitan. Perpindahan panas menyediakan energi untuk penguapan, sementara penguapan itu sendiri, yang merupakan bagian dari perpindahan massa, mendinginkan produk. Pada tahap awal pengeringan, laju penguapan di permukaan begitu tinggi sehingga suhu permukaan produk tetap berada pada suhu bola basah (*wet-bulb temperature*) udara, yang jauh lebih rendah daripada suhu udara kering. Saat pengeringan berlanjut dan perpindahan air internal menjadi faktor pembatas, suhu produk akan mulai meningkat dan mendekati suhu udara pengering (Fathi et al., 2022).

2. Kurva Laju Pengeringan Bahan

Kurva laju pengeringan merupakan grafik yang memplot laju pengeringan terhadap kandungan air. Umumnya, kurva ini menunjukkan dua periode utama. Pertama, periode laju pengeringan konstan. Pada periode ini, permukaan produk tetap jenuh dengan air dan laju pengeringan dibatasi oleh laju perpindahan panas dan massa eksternal, yaitu dari permukaan ke udara. Laju pengeringan selama periode ini relatif stabil dan cepat. Periode ini akan berakhir ketika laju difusi air dari dalam ke permukaan tidak lagi mampu mengimbangi laju penguapan dari permukaan. Titik ini disebut kandungan air kritis (Bouhile et al., 2025).

Setelah melewati kandungan air kritis, proses memasuki periode laju pengeringan menurun. Pada periode ini, laju pengeringan tidak lagi konstan, tetapi terus menurun seiring dengan berkurangnya kandungan air. Proses pengeringan sekarang

sepenuhnya dikendalikan oleh laju perpindahan massa internal, yaitu pergerakan air dari dalam ke permukaan. Periode ini biasanya jauh lebih lama daripada periode laju konstan dan merupakan tahap ketika sebagian besar energi dikonsumsi. Mungkin terdapat satu atau lebih periode laju menurun, bergantung pada mekanisme ikatan air di dalam produk (Kumar & Kumar, 2022).

3. Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Pengeringan

Efisiensi proses pengeringan dipengaruhi oleh tiga kelompok faktor. Pertama, faktor yang terkait dengan udara pengering, yaitu suhu, kelembapan relatif, dan kecepatan aliran. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan kapasitas udara untuk menampung uap air dan menyediakan lebih banyak energi panas. Kelembapan relatif yang lebih rendah menciptakan gaya dorong perpindahan massa yang lebih besar. Kecepatan aliran udara yang lebih tinggi mengurangi resistensi lapisan batas di permukaan produk (Fathi et al., 2022).

Kedua, faktor yang terkait dengan sifat bahan, yaitu luas permukaan, ketebalan, komposisi kimia, dan struktur fisik. Luas permukaan yang lebih besar per satuan volume, yaitu partikel yang lebih kecil, akan mempercepat pengeringan. Produk yang lebih tebal akan memerlukan waktu lebih lama karena jarak tempuh air internal lebih jauh. Kandungan gula atau garam yang tinggi dapat menurunkan tekanan uap air sehingga memperlambat pengeringan. Ketiga, faktor yang terkait dengan desain alat pengering itu sendiri, seperti efisiensi termal dan pola kontak antara udara dan produk.

B. Metode Pengeringan Industri

Berdasarkan prinsip-prinsip dasar pengeringan, industri pangan telah mengembangkan dan mengadaptasi berbagai macam teknologi pengeringan untuk memenuhi kebutuhan spesifik dari berbagai jenis produk. Pemilihan metode pengeringan yang tepat merupakan keputusan rekayasa yang sangat penting, yang tidak hanya memengaruhi kecepatan dan biaya proses, tetapi juga secara fundamental menentukan kualitas produk akhir. Tidak ada satu metode pun yang sempurna untuk semua aplikasi. Metode yang ideal untuk mengeringkan biji-bijian sereal mungkin sama sekali tidak cocok untuk mengeringkan susu cair menjadi bubuk. Oleh karena itu, pemahaman tentang kelebihan, kekurangan, dan aplikasi tipikal dari setiap metode sangat penting.

Metode pengeringan dapat diklasifikasikan secara luas menjadi dua kategori besar, yaitu pengeringan alami atau pengeringan matahari dan pengeringan mekanis atau dehidrasi buatan. Pengeringan alami merupakan metode tertua yang mengandalkan energi matahari sebagai sumber panas dan angin alami untuk pergerakan udara. Metode ini memiliki biaya investasi dan operasional yang sangat rendah sehingga menarik bagi produsen skala kecil di daerah dengan iklim yang sesuai. Namun, metode ini memiliki banyak kelemahan, termasuk ketergantungan pada cuaca, waktu pengeringan yang sangat lama, serta risiko kontaminasi yang tinggi dari debu, serangga, dan hewan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, industri pangan modern sebagian besar bergantung pada pengeringan mekanis. Dalam sistem ini, semua parameter proses, seperti suhu, kelembapan, dan aliran udara, dapat dikontrol secara presisi di dalam peralatan tertutup yang disebut alat pengering (*dryer*). Kontrol tersebut memungkinkan proses pengeringan yang jauh lebih cepat, konsisten, dan higienis serta tidak bergantung pada kondisi cuaca. Pengeringan mekanis sendiri mencakup spektrum teknologi yang sangat luas, yang dirancang untuk menangani produk dalam berbagai bentuk, mulai dari potongan padat hingga cairan.

Untuk produk padat seperti irisan buah, sayuran, atau potongan daging, pengering seperti *cabinet dryer* atau *tunnel dryer* umum digunakan. Dalam sistem ini, produk diletakkan di atas nampan-nampan dan udara panas dialirkan melewatinya. Untuk produk partikulat, *conveyor belt dryer* atau *fluidized bed dryer* menawarkan proses yang lebih kontinu dan efisien.

Untuk produk cair atau semipadat seperti susu, ekstrak kopi, atau purée buah, tantangannya adalah bagaimana mengubahnya menjadi bubuk kering secara efisien. Di sinilah teknologi pengeringan semprot (*spray drying*) menjadi sangat dominan. Teknologi canggih ini mampu mengubah cairan menjadi bubuk dalam hitungan detik sehingga menjadikannya salah satu inovasi penting dalam industri pangan modern.

Pemilihan antara berbagai metode tersebut melibatkan pertimbangan yang cermat terhadap berbagai faktor, termasuk karakteristik bahan baku, seperti sensitivitas terhadap panas dan bentuk fisik; spesifikasi produk akhir yang diinginkan, seperti kadar air, ukuran partikel, dan kelarutan; kapasitas produksi; serta pertimbangan ekonomi, terutama biaya investasi dibandingkan dengan biaya operasional.

Subbab-subbab berikut akan mengelaborasi lebih lanjut mengenai metode-metode pengeringan utama, mulai dari pengeringan matahari tradisional, beralih ke pengering mekanis untuk produk padat, dan diakhiri dengan pembahasan mendalam tentang teknologi pengeringan semprot untuk produk cair.

Jendela Industri: Peningkatan Kualitas Ikan Asin dengan *Solar Dryer Dome* di Pesisir Indramayu

Di Indramayu, para pengolah ikan asin tradisional selama ini bergantung sepenuhnya pada pengeringan matahari terbuka. Proses ini sering kali menghasilkan produk dengan kualitas yang tidak konsisten, kadar garam yang terlalu tinggi untuk mencegah pembusukan selama pengeringan yang lambat, dan terkadang terkontaminasi oleh lalat serta debu.

Pada tahun 2023, sebuah program kemitraan antara universitas dan koperasi nelayan memperkenalkan penggunaan *Solar Dryer Dome*, yaitu struktur seperti rumah kaca yang terbuat dari polikarbonat. Alat ini bekerja dengan menjebak panas matahari melalui efek rumah kaca sehingga meningkatkan suhu udara di

dalamnya secara signifikan, sementara ventilasi di bagian atas dan bawah memungkinkan sirkulasi udara alami untuk mengeluarkan uap air.

Dengan metode ini, waktu pengeringan ikan dapat dipersingkat dari 3–4 hari menjadi 1–2 hari. Produk yang dihasilkan lebih higienis dan memiliki warna yang lebih cerah. Karena pengeringan berlangsung lebih cepat, kadar garam yang dibutuhkan pun dapat dikurangi. Inovasi ini merupakan contoh jembatan antara pengeringan alami dan mekanis yang memanfaatkan energi matahari secara lebih efisien dan terkontrol.

1. Pengeringan Alami dan Matahari (*Sun Drying*)

Pengeringan matahari merupakan metode dehidrasi ketika makanan dijemur di bawah sinar matahari langsung. Energi radiasi matahari memanaskan produk, sementara angin alami membantu menghilangkan uap air. Metode ini merupakan metode yang paling murah karena tidak memerlukan bahan bakar. Namun, prosesnya sangat lambat dan bergantung pada kondisi iklim, seperti sinar matahari yang cukup, kelembapan rendah, dan tidak adanya hujan. Produk yang dijemur di tempat terbuka juga sangat rentan terhadap kontaminasi dari debu, kotoran, serangga, burung, dan hewan pengerat sehingga menimbulkan masalah kebersihan dan keamanan pangan (Ben, A. et al., 2025).

Untuk meningkatkan kontrol dan kebersihan, telah dikembangkan berbagai jenis pengering surya (*solar dryer*). Alat ini masih menggunakan energi matahari, tetapi proses pengeringan

dilakukan di dalam ruang atau kabinet tertutup. Desain yang paling sederhana menggunakan konveksi alami, sedangkan desain yang lebih canggih dapat menggunakan kipas kecil bertenaga surya untuk meningkatkan aliran udara. Pengering surya dapat menghasilkan suhu yang lebih tinggi dan melindungi produk dari kontaminasi sehingga menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik serta waktu pengeringan yang lebih singkat dibandingkan dengan penjemuran terbuka (Fathi et al., 2022).

2. Pengeringan dengan Pengering Mekanis (*Cabinet/Tunnel Dryer*)

Pengering kabinet (*cabinet dryer*) merupakan sistem pengeringan *batch* ketika makanan diletakkan di atas nampan-nampan yang disusun di dalam kabinet berinsulasi. Udara panas kemudian dialirkan secara horizontal melewati setiap nampan untuk mengeringkan produk. Metode ini relatif murah dan fleksibel untuk produksi skala kecil hingga menengah, tetapi cenderung menghasilkan pengeringan yang tidak seragam karena nampan yang paling dekat dengan sumber udara panas akan lebih cepat kering.

Untuk produksi skala besar dan kontinu, digunakan pengering terowongan (*tunnel dryer*). Dalam sistem ini, nampan-nampan diletakkan di atas troli yang kemudian didorong secara bertahap melalui sebuah terowongan panjang. Udara panas dialirkan di sepanjang terowongan. Aliran udara dapat searah (*co-current*), berlawanan arah (*counter-current*), atau kombinasi keduanya. Pengeringan berlawanan arah umumnya lebih efisien secara termal

dan dapat menghasilkan produk dengan kadar air akhir yang lebih rendah. *Tunnel dryer* merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk dehidrasi buah-buahan dan sayuran potong secara komersial (Kumar & Kumar, 2022).

3. Pengeringan Semprot (*Spray Drying*) pada Produk Bubuk

Pengeringan semprot merupakan teknologi yang dirancang khusus untuk mengubah bahan cair, seperti larutan, emulsi, atau suspensi, menjadi bubuk kering dalam satu langkah proses yang sangat cepat. Proses ini melibatkan tiga tahap utama. Pertama, cairan umpan diatomisasi menjadi tetesan (*droplet*) yang sangat halus menggunakan *atomizer*, baik tipe nosel maupun piringan berputar. Kedua, semprotan *droplet* dialirkan ke dalam ruang pengering besar (*drying chamber*) dan bertemu dengan aliran udara panas yang dapat mencapai suhu 200 °C (Bouhile et al., 2025).

Karena rasio luas permukaan terhadap volume *droplet* sangat besar, penguapan air terjadi hampir seketika, yaitu dalam hitungan detik. Panas dari udara dengan cepat ditransfer ke *droplet* untuk menyediakan kalor penguapan, sementara uap air dengan cepat berdifusi dari *droplet* ke udara. Proses penguapan yang cepat ini memiliki efek pendinginan yang signifikan pada partikel sehingga suhu partikel itu sendiri tetap relatif rendah meskipun suhu udara tinggi. Hal ini membuat *spray drying* cocok bahkan untuk bahan-bahan yang sensitif terhadap panas, seperti susu dan telur. Tahap terakhir adalah memisahkan partikel bubuk kering dari aliran udara,

yang biasanya dilakukan dengan menggunakan pemisah siklon (*cyclone separator*) dan/atau *bag filter* (Fathi et al., 2022).

C. Pengeringan Khusus dan Konsentrasi

Di luar metode-metode pengeringan konvensional yang terutama mengandalkan udara panas, terdapat sekelompok teknologi pengeringan dan pengurangan air yang lebih khusus. Teknologi-teknologi ini dikembangkan untuk mengatasi tantangan-tantangan spesifik, seperti menangani bahan yang sangat sensitif terhadap panas, mencapai kualitas produk yang sangat tinggi, atau memekatkan produk cair sebelum tahap pengeringan akhir. Metode-metode ini sering kali melibatkan investasi dan biaya operasional yang lebih tinggi, tetapi menghasilkan produk dengan nilai tambah yang juga lebih tinggi dan tidak dapat dicapai dengan metode konvensional.

Salah satu teknologi yang paling canggih dalam kategori ini adalah pengeringan beku atau liofilisasi (*freeze drying*). Ini merupakan proses dehidrasi yang sangat lembut, ketika air dihilangkan dari produk yang telah dibekukan melalui proses sublimasi. Sublimasi merupakan transisi fase langsung dari padat, yaitu es, menjadi gas, yaitu uap air, tanpa melalui fase cair. Karena proses ini terjadi pada suhu yang sangat rendah dan tidak terdapat air dalam bentuk cair yang dapat merusak struktur, pengeringan beku mampu mempertahankan bentuk, warna, aroma, dan nutrisi bahan asli dengan sangat baik. Produk hasil pengeringan beku

memiliki struktur yang sangat berpori sehingga dapat direhidrasi kembali dengan sangat cepat dan hampir sempurna.

Sebelum produk dikeringkan sepenuhnya, sering kali lebih efisien secara energi untuk menghilangkan sebagian besar air melalui proses pemekatan atau konsentrasi. Evaporasi merupakan teknik yang paling umum digunakan untuk tujuan ini. Proses ini melibatkan pendidihan produk cair dalam kondisi terkontrol, sering kali di bawah vakum untuk menurunkan titik didih, sehingga sebagian air menguap. Hasilnya adalah produk konsentrat yang lebih kental, seperti sari buah konsentrat, pasta tomat, atau susu kental. Produk konsentrat tersebut kemudian dapat diolah lebih lanjut, misalnya dikeringkan menjadi bubuk dengan *spray dryer*, atau langsung dikemas dan dijual sebagai produk akhir.

Untuk bahan-bahan yang tidak dapat dibekukan dan juga sangat sensitif terhadap panas sedang yang digunakan dalam evaporasi vakum, teknologi pengeringan vakum konvensional menjadi pilihan. Dalam metode ini, produk ditempatkan di dalam ruang vakum dan dipanaskan secara perlahan melalui konduksi dari rak-rak pemanas. Tekanan yang sangat rendah memungkinkan air menguap pada suhu yang jauh lebih rendah daripada titik didih normalnya, misalnya pada 30–40 °C. Meskipun prosesnya lambat karena menggunakan sistem *batch*, metode ini sangat baik untuk mempertahankan komponen bioaktif dan senyawa aroma yang mudah menguap.

Teknologi-teknologi khusus ini menunjukkan adanya spektrum pilihan dalam proses pengurangan air sehingga produsen dapat memilih metode yang paling sesuai dengan tingkat sensitivitas bahan baku dan target kualitas produk akhir. Teknologi tersebut merupakan contoh bagaimana prinsip-prinsip fisika, seperti diagram fase air, dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan solusi pengolahan yang canggih.

Analogi/Contoh Kasus

Memilih metode pengeringan khusus dapat diibaratkan seperti memilih metode untuk mengawetkan sebuah bunga yang sangat langka dan indah. Pengeringan konvensional dengan udara panas adalah seperti menekan bunga di antara halaman-halaman buku yang tebal. Bunga tersebut akan awet, tetapi bentuk tiga dimensinya akan hilang dan warnanya sedikit pudar.

Evaporasi adalah seperti mengekstrak parfum dari bunga tersebut. Kita tidak mengawetkan bunga itu sendiri, tetapi mengambil "esensinya" dalam bentuk yang lebih pekat. Pengeringan beku (*freeze drying*) merupakan metode yang paling canggih, mirip dengan proses taksidermi yang sangat hati-hati. Bunga tersebut "dibekukan dalam waktu" pada suhu sangat rendah, kemudian seluruh "kelembapannya" dihilangkan secara perlahan tanpa merusak strukturnya. Hasilnya adalah bunga yang tampak hidup, mempertahankan bentuk, warna, dan bahkan sebagian aromanya, meskipun sudah sangat kering dan ringan. Metode ini paling mahal dan rumit, tetapi menghasilkan "spesimen" dengan kualitas terbaik.

1. Pengeringan Beku (*Freeze Drying*)

Proses pengeringan beku atau liofilisasi terdiri atas tiga tahap utama. Pertama, tahap pembekuan, ketika produk dibekukan secepat mungkin untuk membentuk kristal-kristal es kecil. Kualitas tahap ini sangat menentukan struktur akhir produk. Kedua, tahap pengeringan primer (sublimasi), ketika produk beku ditempatkan di dalam ruang vakum pada tekanan yang sangat rendah, yaitu di bawah titik tripel air. Panas yang terkontrol kemudian ditambahkan secara perlahan melalui rak-rak pemanas. Energi panas ini menyediakan kalor sublimasi yang dibutuhkan kristal es untuk berubah langsung menjadi uap air tanpa mencair terlebih dahulu (Fathi et al., 2022).

Uap air yang terbentuk kemudian dihilangkan dari ruang vakum dan dikondensasikan pada permukaan yang sangat dingin yang disebut kondensor es. Setelah sebagian besar es menyublim, proses memasuki tahap pengeringan sekunder (desorpsi). Pada tahap ini, suhu produk dinaikkan sedikit dan vakum diperdalam untuk menghilangkan sisa molekul air yang terikat secara adsorpsi pada permukaan padatan. Pengeringan beku menghasilkan produk berkualitas premium dan banyak digunakan untuk produk bernilai tinggi, seperti kopi instan, kultur starter bakteri, enzim, vaksin, dan makanan astronot (Lisboa et al., 2024).

2. Teknik Evaporasi untuk Pemekatan Cairan

Evaporasi bertujuan memekatkan larutan dengan menguapkan sebagian pelarutnya, biasanya air. Untuk meminimalkan kerusakan

termal pada produk pangan, evaporasi hampir selalu dilakukan dalam kondisi vakum. Evaporator vakum menurunkan tekanan di dalam ruang pemanasan sehingga titik didih air turun secara signifikan. Sebagai contoh, pada tekanan vakum yang cukup tinggi, air dapat mendidih pada suhu 40–50 °C. Hal ini memungkinkan pemekatan dilakukan tanpa merusak warna, rasa, dan nutrisi produk secara berlebihan (Kumar & Kumar, 2022).

Evaporator industri modern, seperti *falling film evaporator* atau *rising film evaporator*, dirancang untuk efisiensi perpindahan panas yang tinggi dan waktu tinggal produk yang singkat. Untuk lebih menghemat energi, sering kali digunakan sistem *multiple-effect evaporator*, ketika uap yang dihasilkan dari satu unit atau efek digunakan kembali sebagai media pemanas untuk efek berikutnya yang beroperasi pada tekanan lebih rendah. Teknologi yang lebih canggih lagi adalah *Mechanical Vapor Recompression* (MVR), yang mengompresi uap keluaran untuk meningkatkan suhunya sehingga dapat digunakan kembali sebagai sumber panas utama. Teknologi ini membuat proses sangat efisien secara energi.

3. Pengeringan Vakum untuk Bahan Sensitif Panas

Pengeringan vakum merupakan metode pengeringan *batch* yang cocok untuk bahan padat yang sensitif terhadap panas dan tidak dapat menahan gaya mekanis dari metode lain. Produk ditempatkan di atas nampan-nampan di dalam kabinet kedap udara yang dapat divakumkan. Panas ditransfer ke produk melalui konduksi dari rak-rak yang dipanaskan secara internal, misalnya menggunakan air

panas atau uap. Karena tidak ada udara sebagai media konveksi, perpindahan panas relatif lambat. Namun, kondisi vakum memungkinkan penguapan air terjadi pada suhu yang sangat rendah (Ben, A. et al., 2025).

Metode ini menghasilkan produk kering dengan penyusutan dan kerusakan oksidatif yang minimal karena proses berlangsung pada suhu rendah dan hampir tanpa kehadiran oksigen. Pengeringan vakum sering digunakan untuk mengeringkan buah-buahan dan sayuran berkualitas tinggi, ekstrak herbal, serta produk-produk farmasi. Meskipun menghasilkan kualitas yang baik, proses ini relatif lambat dan memiliki biaya modal yang tinggi per unit kapasitas sehingga aplikasinya terbatas pada produk-produk bernilai tambah tinggi.

D. Teknologi Dehidrasi Osmotik

Dehidrasi osmotik menyajikan pendekatan yang secara fundamental berbeda untuk pengurangan air dibandingkan dengan metode pengeringan termal konvensional. Alih-alih menggunakan panas untuk menguapkan air, teknologi ini memanfaatkan fenomena osmosis alami untuk mengeluarkan air dari bahan pangan. Proses ini melibatkan perendaman bahan pangan, biasanya potongan buah-buahan atau sayuran, ke dalam larutan pekat dari zat terlarut (*solut*) yang memiliki aktivitas air (a_w) rendah, seperti larutan gula (sukrosa) atau garam (natrium klorida). Karena adanya perbedaan potensial kimia air yang besar antara produk (a_w tinggi) dan

larutan perendam (*a_w* rendah), terjadi perpindahan massa dua arah secara simultan.

Gaya pendorong utama menyebabkan pergerakan air dari dalam produk keluar menuju larutan perendam sehingga produk mengalami dehidrasi. Pada saat yang sama, tetapi dengan laju yang lebih lambat, terjadi perpindahan massa *solut* (gula atau garam) dari larutan masuk ke dalam produk. Fenomena ini menyebabkan produk tidak hanya kehilangan air, tetapi juga mengalami penambahan padatan terlarut. Perpindahan massa dua arah ini memberikan karakteristik unik pada produk akhir yang sering kali memiliki tekstur lebih lembut dan rasa lebih manis atau asin dibandingkan dengan produk yang dikeringkan menggunakan metode lain.

Salah satu keuntungan utama dehidrasi osmotik adalah prosesnya dapat dilakukan pada suhu rendah atau bahkan suhu ruang. Hal ini membuatnya menjadi metode yang sangat lembut dan ideal untuk bahan-bahan yang sangat sensitif terhadap panas. Karena tidak ada perlakuan panas yang signifikan, kerusakan pada warna, aroma, dan komponen gizi yang labil terhadap panas, seperti vitamin C dan antosianin, dapat diminimalkan secara signifikan. Proses ini juga dapat meningkatkan stabilitas warna pada beberapa buah dengan menghambat reaksi pencokelatan enzimatik.

Dehidrasi osmotik jarang digunakan sebagai metode pengawetan tunggal. Proses ini biasanya tidak dapat mengurangi kandungan air produk hingga tingkat yang cukup rendah untuk

membuatnya stabil pada suhu ruang. Umumnya, dehidrasi osmotik digunakan sebagai perlakuan pendahuluan (*pre-treatment*) yang efektif sebelum proses pengeringan lebih lanjut, seperti pengeringan udara panas atau pengeringan beku. Dengan menghilangkan sebagian air, yang dapat mencapai 50% dari berat awal, pada tahap osmotik yang hemat energi, beban pada tahap pengeringan termal selanjutnya dapat dikurangi secara signifikan. Hal ini dapat mempersingkat waktu pengeringan total, menghemat energi, dan meningkatkan kualitas produk akhir secara keseluruhan.

Keberhasilan proses dehidrasi osmotik bergantung pada pengendalian beberapa parameter proses kunci. Konsentrasi larutan, suhu, rasio antara produk dan larutan, serta waktu perendaman semuanya memengaruhi laju perpindahan air dan *solut*. Memahami interaksi antara faktor-faktor tersebut memungkinkan optimalisasi proses untuk mencapai tingkat kehilangan air yang diinginkan sekaligus mengontrol tingkat penambahan padatan sesuai dengan spesifikasi produk akhir.

Teknologi ini menawarkan peluang menarik untuk pengembangan produk-produk buah dan sayuran olahan dengan atribut kualitas yang unggul, seperti manisan buah kering, atau sebagai komponen dalam produk seperti sereal, es krim, dan produk roti.

Analogi/Contoh Kasus

Proses dehidrasi osmotik dapat diibaratkan seperti menggunakan sebuah spons yang sangat kering dan pekat untuk menyerap air dari

spons lain yang basah kuyup. Spons basah adalah potongan buah, sedangkan spons kering dan pekat adalah larutan gula. Ketika kedua spons ini ditempelkan, terjadi "pertukaran". Air secara alami akan berpindah dari spons yang sangat basah ke spons yang sangat kering karena perbedaan "tingkat kebasahan", yaitu perbedaan aktivitas air.

Pada saat yang sama, sebagian kecil material pekat dari spons kering, misalnya zat terlarut di dalamnya, akan sedikit berpindah ke spons basah. Proses ini tidak memerlukan panas, melainkan hanya kontak langsung. Hasilnya adalah spons yang tadinya basah kuyup menjadi jauh lebih kering, sedangkan spons yang tadinya kering menjadi sedikit basah, sehingga tercapai keseimbangan baru secara alami.

1. Prinsip Perpindahan Massa dalam Larutan Gula/Garam

Dehidrasi osmotik didorong oleh perbedaan tekanan osmotik antara larutan perendam dan cairan sel di dalam jaringan produk. Membran sel tumbuhan berfungsi sebagai membran semipermeabel yang memungkinkan molekul air berukuran kecil melewatinya dengan relatif mudah, tetapi menghambat pergerakan molekul *solut* yang lebih besar, seperti sukrosa. Akibatnya, terjadi aliran air bersih (*netto*) dari produk yang memiliki konsentrasi *solut* rendah menuju larutan yang memiliki konsentrasi *solut* tinggi (Ben, A. et al., 2025).

Pada saat yang sama, terjadi transfer *solut* dari larutan ke dalam produk, meskipun dengan laju yang lebih lambat. Hal ini terjadi karena membran sel tidak sepenuhnya impermeabel

terhadap *solut*. Transfer *solut* ini akan membentuk lapisan pekat di permukaan produk yang dapat sedikit memperlambat laju kehilangan air dari lapisan yang lebih dalam. Laju perpindahan massa, baik air maupun *solut*, paling tinggi pada awal proses dan akan menurun secara bertahap seiring dengan semakin kecilnya perbedaan konsentrasi antara produk dan larutan hingga akhirnya mencapai kesetimbangan (Lisboa et al., 2024).

2. Faktor yang Memengaruhi Dehidrasi Osmotik

Beberapa faktor proses secara signifikan memengaruhi laju dan efisiensi dehidrasi osmotik. Suhu larutan merupakan salah satu faktor terpenting. Peningkatan suhu akan menurunkan viskositas larutan dan meningkatkan laju difusi sehingga mempercepat laju kehilangan air dan penambahan *solut*. Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat merusak tekstur dan menyebabkan kerusakan termal. Konsentrasi larutan osmotik juga krusial. Semakin tinggi konsentrasinya, semakin besar gaya pendorong untuk kehilangan air.

Jenis zat terlarut (*solut*) yang digunakan juga berpengaruh. *Solut* dengan berat molekul kecil, seperti garam, akan berpenetrasi ke dalam produk lebih cepat daripada *solut* dengan berat molekul besar, seperti sukrosa. Rasio antara berat larutan dan berat produk juga penting. Rasio yang tinggi diperlukan untuk menjaga konsentrasi larutan tetap relatif konstan selama proses. Ukuran dan geometri potongan produk serta agitasi atau pengadukan larutan juga memengaruhi laju perpindahan massa dengan mengubah luas

permukaan dan mengurangi resistensi lapisan batas (Fathi et al., 2022).

3. Aplikasi pada Komoditas Buah-Buahan

Dehidrasi osmotik sangat populer diaplikasikan pada berbagai jenis buah-buahan tropis dan subtropis, seperti mangga, nanas, pepaya, dan pisang, serta buah-buahan seperti stroberi dan ceri. Proses ini digunakan untuk memproduksi manisan buah kering atau buah semikering. Penambahan gula selama proses tidak hanya membantu mengeluarkan air, tetapi juga meningkatkan rasa manis, memperbaiki stabilitas warna dengan melapisi permukaan dan mencegah kontak dengan oksigen, serta memberikan tekstur yang lembut dan kenyal (*chewy*) yang disukai konsumen (M. A. et al., 2024).

Buah yang telah melalui dehidrasi osmotik, yang disebut juga infus buah, dapat dikonsumsi langsung sebagai produk intermediet dengan kadar air sedang yang memerlukan penyimpanan dingin, atau dapat dikeringkan lebih lanjut dengan pengering udara panas atau vakum untuk menghasilkan produk akhir yang stabil pada suhu ruang. Penggunaan dehidrasi osmotik sebagai perlakuan pendahuluan terbukti dapat mengurangi penyusutan dan pengerasan produk selama pengeringan udara panas selanjutnya sehingga menghasilkan produk kering dengan kualitas tekstur dan penampilan yang lebih baik.

E. Proses Rekonstitusi

Kualitas sebuah produk pangan kering tidak hanya dinilai dari kondisi keringnya, tetapi juga dari kemampuannya untuk kembali ke keadaan yang mendekati kondisi aslinya saat ditambahkan air. Proses penambahan kembali air ke dalam produk dehidrasi ini disebut rekonstitusi atau rehidrasi. Kemampuan rehidrasi merupakan salah satu parameter kualitas fungsional yang paling penting untuk banyak produk kering, seperti susu bubuk, sup instan, sayuran kering, dan kopi instan. Produk yang baik harus dapat menyerap air dengan cepat, merata, dan tanpa membentuk gumpalan serta menghasilkan produk akhir dengan tekstur, rasa, dan penampilan yang dapat diterima.

Proses rekonstitusi melibatkan serangkaian tahapan fisik yang kompleks. Ketika bubuk atau potongan kering berkontak dengan air, pertama-tama permukaan partikel harus dibasahi (*wettability*). Setelah dibasahi, air harus dapat menembus ke dalam struktur internal partikel, suatu proses yang disebut perendaman atau imbibisi (*imbibition*). Selanjutnya, komponen-komponen yang larut, seperti gula atau protein, harus dapat larut kembali ke dalam air (*solubility* atau *dispersibility*). Laju dan tingkat keberhasilan setiap tahapan tersebut sangat dipengaruhi oleh perubahan fisik dan kimia yang terjadi pada bahan selama proses pengeringan sebelumnya.

Metode pengeringan memiliki dampak yang sangat besar terhadap sifat rehidrasi produk. Pengeringan pada suhu tinggi,

misalnya, dapat menyebabkan denaturasi protein yang tidak dapat kembali, gelatinisasi pati yang berlebihan, dan penyusutan struktur yang parah, yang semuanya akan mengurangi kemampuan produk untuk menyerap air. Pengerasan permukaan (*case hardening*) selama pengeringan akan menciptakan lapisan penghalang yang sulit ditembus oleh air. Sebaliknya, metode pengeringan yang lembut, seperti pengeringan beku, akan menghasilkan struktur yang sangat berpori dan tidak menyusut sehingga produknya memiliki kemampuan rehidrasi yang hampir sempurna dan instan.

Sifat-sifat fisik produk kering itu sendiri, seperti ukuran partikel, densitas, dan porositas, juga memainkan peran kunci. Partikel yang lebih kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih besar untuk kontak dengan air, tetapi jika terlalu halus dapat mengapung dan sulit terbasahi. Struktur yang lebih berpori akan memungkinkan penetrasi air yang lebih cepat.

Untuk meningkatkan kemudahan rekonstitusi, terutama untuk produk bubuk seperti susu atau minuman instan, industri pangan sering kali melakukan proses tambahan yang disebut instanisasi atau aglomerasi. Dalam proses ini, partikel-partikel bubuk halus dilembapkan sedikit agar menjadi lengket dan saling menempel sehingga membentuk agregat atau gumpalan yang lebih besar dan berpori. Agregat ini memiliki ukuran lebih besar dan densitas lebih rendah sehingga lebih mudah tenggelam dan terbasahi oleh air. Struktur berporinya memungkinkan air

menembus ke dalam dengan cepat, menghasilkan dispersi yang jauh lebih baik dan mengurangi pembentukan gumpalan.

Pada akhirnya, proses rekonstitusi merupakan "momen kebenaran" bagi sebuah produk kering. Ini adalah saat ketika kualitas produk, yang merupakan hasil dari seluruh rantai proses mulai dari bahan baku hingga teknologi pengeringan, diuji oleh konsumen. Oleh karena itu, perancangan proses pengeringan harus selalu mempertimbangkan dampaknya terhadap sifat rekonstitusi produk akhir.

Analogi/Contoh Kasus

Proses rekonstitusi sebuah produk kering dapat diibaratkan seperti menghidupkan kembali sebuah spons yang telah dikeringkan dan dikompresi. Spons adalah produk kering, sedangkan air adalah agen penghidup. Kemampuan rehidrasi menggambarkan seberapa baik spons tersebut dapat kembali ke bentuk dan kelembutan aslinya.

Jika spons dikeringkan secara perlahan di bawah matahari atau melalui pengeringan udara panas, spons mungkin menjadi sedikit kaku dan menyusut. Saat diberi air, spons akan menyerap air, tetapi mungkin tidak dapat kembali ke bentuk semula sepenuhnya. Jika spons dibekukan kemudian dikeringkan-bekukan (*freeze drying*), strukturnya tidak akan menyusut secara signifikan. Begitu terkena air, spons akan langsung mengembang kembali ke bentuk aslinya.

Instanisasi dapat diibaratkan seperti mengambil serbuk spons yang sangat halus dan membentuknya menjadi bola-bola spons kecil yang berongga. Ketika bola-bola tersebut dimasukkan ke dalam air, bola tidak mengapung seperti serbuk halus, melainkan langsung tenggelam dan menyerap air dengan sangat cepat melalui rongga-rongganya.

1. Prinsip Rehidrasi Produk Kering

Rehidrasi merupakan proses difusi air yang kompleks ke dalam matriks bahan pangan yang telah dikeringkan. Proses ini didorong oleh gradien potensial air antara air murni dan produk kering. Laju rehidrasi biasanya diukur dengan memantau penambahan berat produk seiring waktu ketika direndam dalam air pada suhu tertentu. Secara umum, proses rehidrasi ditandai dengan penyerapan air yang cepat pada tahap awal, kemudian melambat seiring dengan produk mendekati titik jenuhnya (Fathi et al., 2022).

Kemampuan produk untuk menyerap air kembali disebut kapasitas rehidrasi. Kapasitas ini sering kali lebih rendah daripada kandungan air awal produk sebelum dikeringkan. Hal ini disebabkan oleh perubahan struktural yang tidak dapat kembali (*irreversible*) yang terjadi selama pengeringan, seperti penyusutan sel, denaturasi protein, dan kristalisasi polisakarida, yang mengurangi kapasitas matriks untuk menahan air (Bouhile et al., 2025).

2. Pengaruh Sifat Fisik Produk terhadap Kemampuan Rehidrasi

Sifat fisik produk kering secara langsung menentukan perilaku rehidrasinya. Porositas, atau fraksi volume rongga udara di dalam produk, merupakan salah satu faktor terpenting. Porositas yang lebih tinggi menyediakan lebih banyak jalur bagi air untuk masuk ke dalam struktur melalui aksi kapiler sehingga mempercepat rehidrasi. Produk hasil pengeringan beku memiliki porositas tertinggi, diikuti oleh produk hasil penggorengan vakum dan pengeringan semprot, sedangkan produk hasil pengeringan udara panas biasanya memiliki porositas terendah karena penyusutan yang signifikan (Ben, A. et al., 2025).

Ukuran partikel juga berpengaruh. Partikel yang lebih kecil memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang lebih besar sehingga seharusnya mempercepat rehidrasi. Namun, untuk bubuk, partikel yang terlalu halus dapat menyebabkan masalah pembasahan dan penggumpalan. Densitas partikel juga memengaruhi apakah bubuk akan tenggelam atau mengapung di permukaan air.

3. Penggunaan Instanisasi untuk Kemudahan Konsumen

Instanisasi merupakan proses aglomerasi yang bertujuan meningkatkan sifat rekonstitusi bubuk makanan. Tujuannya adalah mengubah bubuk halus yang sulit dibasahi menjadi aglomerat berpori yang dapat larut atau terdispersi secara instan dalam air dingin maupun panas. Proses yang paling umum adalah aglomerasi pembasahan ulang (*re-wet agglomeration*). Dalam proses ini, bubuk

dilewatkan melalui zona ketika bubuk sedikit dibasahi dengan uap air atau semprotan air halus (Lisboa et al., 2024).

Partikel-partikel yang permukaannya lengket kemudian bertabrakan dan membentuk aglomerat di dalam ruang agitasi. Aglomerat basah tersebut kemudian dikeringkan kembali dengan hati-hati untuk menghilangkan kelembapan tambahan dan diayak untuk mendapatkan rentang ukuran partikel yang diinginkan. Hasilnya adalah produk "instan" yang mengalir bebas, tidak berdebu, dan mudah larut sehingga sangat meningkatkan kemudahan penggunaan bagi konsumen. Proses ini sangat penting untuk produk-produk seperti susu bubuk instan, minuman cokelat, dan campuran sup kering.

Rangkuman Bab

1. Pengeringan merupakan proses pengawetan dengan cara mengurangi aktivitas air (*a_w*) melalui penguapan yang melibatkan perpindahan panas dan massa secara simultan.
2. Kurva laju pengeringan umumnya terdiri atas periode laju konstan yang dibatasi oleh faktor eksternal dan periode laju menurun yang dibatasi oleh difusi air internal.
3. Metode pengeringan industri bervariasi dari pengeringan matahari hingga pengeringan mekanis terkontrol, seperti *tunnel dryer* untuk produk padat dan *spray dryer* untuk produk cair.
4. *Spray drying* mengubah cairan menjadi bubuk secara cepat dengan mengatomisasi cairan ke dalam aliran udara panas dan

cocok untuk produk sensitif panas karena adanya efek pendinginan evaporatif.

5. Pengeringan khusus seperti pengeringan beku (*freeze drying*) menghilangkan air melalui sublimasi dari produk beku sehingga menghasilkan produk berkualitas sangat tinggi dengan struktur berpori.
6. Dehidrasi osmotik menggunakan larutan pekat, seperti gula atau garam, untuk mengeluarkan air dari produk pada suhu rendah dan sering digunakan sebagai perlakuan pendahuluan untuk meningkatkan kualitas.
7. Rekonstitusi merupakan kemampuan produk kering untuk menyerap kembali air, yang sangat dipengaruhi oleh metode pengeringan dan sifat fisik produk. Proses instanisasi atau aglomerasi dapat meningkatkan kemudahan rekonstitusi bubuk.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan perbedaan antara periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun. Faktor-faktor apa yang menjadi pembatas utama laju pengeringan pada masing-masing periode?
2. Bandingkan dan kontraskan proses pengeringan semprot (*spray drying*) dan pengeringan beku (*freeze drying*) untuk mengubah susu cair menjadi bubuk. Tinjau dari segi prinsip kerja, kualitas produk yang dihasilkan, dan biaya operasional.

3. Anda ingin mengeringkan irisan buah mangga yang sensitif terhadap panas untuk mempertahankan warna dan aromanya. Metode pengeringan mana yang akan Anda pilih antara pengeringan udara panas konvensional (60 °C) dan penggunaan dehidrasi osmotik sebagai perlakuan pendahuluan yang diikuti pengeringan udara pada suhu lebih rendah (45 °C)? Berikan justifikasi untuk pilihan Anda.
4. Jelaskan mengapa suatu produk yang dikeringkan, misalnya sayuran, sering kali tidak dapat menyerap kembali air hingga mencapai kandungan air awalnya sebelum dikeringkan. Kaitkan jawaban Anda dengan perubahan struktural yang terjadi selama proses pengeringan.
5. Apa yang dimaksud dengan proses instanisasi dan mengapa proses ini penting untuk produk seperti susu bubuk? Jelaskan bagaimana aglomerasi dapat memperbaiki sifat pembasahan dan dispersi bubuk.

Soal Pilihan Ganda

1. Proses perubahan fase langsung dari padat (es) menjadi gas (uap air) yang menjadi dasar dari teknologi pengeringan beku disebut ....

   a. Evaporasi
   b. Kondensasi
   c. Sublimasi
   d. Osmosis

2. Pada periode laju pengeringan konstan, laju pengeringan terutama dibatasi oleh ....

   a. Laju difusi air dari bagian dalam produk
   b. Laju perpindahan panas dan massa dari permukaan produk ke udara
   c. Kandungan lemak di dalam produk
   d. Ukuran awal produk

3. Teknologi pengeringan yang paling umum dan efisien untuk mengubah ekstrak kopi cair menjadi kopi instan bubuk dalam skala industri adalah ....

   a. Pengeringan kabinet
   b. Pengeringan terowongan
   c. Pengeringan semprot (*spray drying*)
   d. Dehidrasi osmotik

4. Perendaman potongan buah nanas dalam larutan gula pekat untuk mengurangi sebagian kandungan airnya merupakan contoh dari ....

   a. Pengeringan vakum
   b. Dehidrasi osmotik
   c. Pasteurisasi
   d. Ekstraksi

5. Kandungan air ketika laju pengeringan mulai menurun dan tidak lagi konstan disebut ....

   a. Kandungan air kesetimbangan

b. Kandungan air kritis
c. Kandungan air bebas
d. Kandungan air terikat

6. Produk hasil pengeringan beku memiliki kemampuan rehidrasi yang sangat baik karena ....

a. Prosesnya menggunakan suhu yang sangat tinggi
b. Memiliki struktur yang sangat berpori dan tidak menyusut
c. Kandungan gulanya menjadi lebih tinggi
d. Semua enzimnya menjadi aktif kembali

7. Meningkatkan kecepatan aliran udara dalam sebuah alat pengering bertujuan untuk ....

a. Meningkatkan suhu produk secara signifikan
b. Mengurangi resistensi lapisan batas udara di permukaan produk
c. Menambah kelembapan relatif udara
d. Mengurangi luas permukaan produk

8. Proses aglomerasi partikel bubuk halus untuk meningkatkan kelarutannya disebut ....

a. Homogenisasi
b. Ekstrusi
c. Instanisasi
d. Sentrifugasi

9. Pengeringan matahari secara terbuka memiliki kelemahan utama, yaitu ....

a. Membutuhkan energi listrik yang sangat besar
b. Waktu pengeringan sangat cepat
c. Risiko kontaminasi dari debu dan serangga sangat tinggi
d. Menghasilkan produk dengan warna yang sangat gelap

10. Proses pemekatan sari buah apel sebelum dikeringkan lebih lanjut paling efisien dilakukan dengan ....

a. Evaporator vakum
b. Pengering beku
c. Penggorengan
d. Penambahan garam

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

1. **Pemecahan Masalah Kualitas Susu Bubuk:** Sebuah pabrik susu memproduksi susu bubuk skim menggunakan *spray dryer*. Mereka menerima keluhan dari konsumen bahwa produk mereka sulit larut dalam air dingin dan membentuk banyak gumpalan. Sebagai insinyur proses, usulkan satu proses tambahan yang dapat mereka terapkan setelah proses *spray drying* untuk mengatasi masalah ini. Jelaskan prinsip kerja proses yang Anda usulkan dan bagaimana proses tersebut dapat meningkatkan kelarutan produk.
2. **Perancangan Proses Keripik Buah:** Rancanglah dua alur proses yang berbeda untuk memproduksi keripik nangka kering yang renyah. Alur proses pertama harus berbasis teknologi penggorengan, sedangkan alur proses kedua harus berbasis

teknologi pengeringan nonpenggorengan. Buatlah diagram alir sederhana untuk masing-masing proses dan berikan justifikasi singkat mengenai potensi kelebihan dan kekurangan setiap alur proses dalam hal kualitas produk, meliputi rasa, tekstur, dan kandungan lemak, serta biaya.

GLOSARIUM BAB

1. **Aglomerasi:** Proses ketika partikel-partikel kecil saling menempel untuk membentuk agregat atau gumpalan yang lebih besar.
2. **Aktivitas Air (*a_w*):** Ukuran ketersediaan air dalam bahan pangan. Pengeringan bertujuan menurunkannya ke tingkat yang aman.
3. **Dehidrasi:** Istilah umum untuk penghilangan air dari suatu bahan.
4. **Dehidrasi Osmotik:** Proses penghilangan air dengan merendam bahan dalam larutan hipertonik, misalnya gula atau garam pekat.
5. **Evaporasi:** Proses penghilangan pelarut, biasanya air, dari suatu larutan dengan cara mendidihkannya untuk menghasilkan larutan yang lebih pekat.
6. **Instanisasi:** Proses aglomerasi yang diterapkan pada bubuk untuk meningkatkan kecepatan dan kemudahan rehidrasinya.
7. **Kandungan Air Kritis:** Titik kandungan air ketika periode laju pengeringan konstan berakhir dan periode laju menurun dimulai.
8. **Liofilisasi:** Nama lain untuk pengeringan beku (*freeze drying*).
9. **Pengeringan Beku (*Freeze Drying*):** Proses dehidrasi ketika air dihilangkan melalui sublimasi dari produk yang telah dibekukan.

10. **Pengeringan Semprot (*Spray Drying*):** Proses mengubah cairan menjadi bubuk dengan mengatomisasinya ke dalam aliran udara panas.
11. **Rekonstitusi (Rehidrasi):** Proses penambahan kembali air ke dalam produk kering untuk mengembalikannya ke kondisi semula.
12. **Sublimasi:** Transisi fase langsung dari padat menjadi gas tanpa melewati fase cair.

DAFTAR PUSTAKA

Ben, A., Akeem, S. A., Ndukwu, M., Samuel, N. A., Onyenwigwe, D., Simo-Tagne, M., & Djoukeng, H. (2025). Review of the mechanisms, pros and cons of some drying technologies applicable to agricultural food products' processing. *Journal of Food Process Engineering*.

Bouhile, Y., Anaduaka, E., Ezeorba, T., Emmanuel, S. S., Nwuche, C., Okeke, E. S., & Nwankwo, C. (2025). The impact of drying-induced gelatinization on texture and rehydration capacity of starchy foods; a critical consideration for attaining zero hunger. *Food Research International, 225*, 117998.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Karim, M. A., & Rahman, M. M. (2023). A comprehensive review on the principles and mechanisms of food drying. *Food Engineering Reviews, 15*(3), 391–420.

Kumar, A., & Kumar, N. (2022). Drying. In *Unit Operations in Food Processing*. Springer, Singapore.

Lisboa, H., Pasquali, M. B., Anjos, A. I. M. D., Sarinho, A., De Melo, E. D., Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A. (2024). Innovative and sustainable food preservation

techniques: Enhancing food quality, safety, and environmental sustainability. *Sustainability, 16*(18)*, 8223.

M. A., Sri, K., Lokesh, M., Deepthi, N., & Malleswari, M. (2024). Postharvest management techniques for improved shelf life of horticultural crops: A review. *Journal of Experimental Agriculture International, 46*(1), 59–72.

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2022). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Process Engineering, 45*(1), e13589.

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2021). Trends of spray drying: A critical review on spraying nozzles and recent advances. *Trends in Food Science & Technology, 118*, 444–457.

Silva, M. A., & Sobral, P. J. A. (2022). Osmotic dehydration of foods: A review. *Journal of Food Science and Technology, 59*(5), 1667–1681.

Waghmare, R. B. (2021). Freeze drying of food products: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10*(1), 1058–1064.

Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., & Durigon, A. (2023). Rehydration properties of dried plant-based foods as affected by drying-process parameters: A critical review. *Drying Technology, 41*(2), 209–231.

BAB 7
TEKNOLOGI PENGOLAHAN KIMIA DAN FERMENTASI

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan mekanisme pengawetan menggunakan bahan kimia alami seperti garam, gula, dan asam.
2. Memahami peran sentral mikroorganisme, khususnya bakteri asam laktat dan kapang, dalam teknologi fermentasi pangan.
3. Menganalisis faktor-faktor lingkungan yang krusial untuk mengendalikan proses fermentasi agar berjalan optimal.
4. Memberikan contoh aplikasi fermentasi industri pada produk-produk pertanian dan perikanan khas Indonesia.
5. Membedakan antara fermentasi berbasis mikroba dan fermentasi enzimatis yang menggunakan enzim terisolasi.
6. Menguraikan metode-metode analisis untuk pengendalian mutu produk fermentasi.
7. Mengevaluasi risiko kontaminasi dan strategi pencegahannya dalam produksi pangan fermentasi.

Peta Konsep

Bab ini menjelajahi dunia pengawetan biokimia yang terbagi menjadi dua jalan utama. Jalan pertama adalah **Pengawetan dengan Bahan Kimia Alami**, sebuah metode pasif yang memodifikasi lingkungan kimia produk melalui penambahan garam (penggaraman), gula (pemanisan), dan asam (asidifikasi) untuk menghambat pertumbuhan mikroba. Jalan kedua, yang lebih dinamis, adalah **Dasar Teknologi Fermentasi**. Di sini, kita secara aktif memanfaatkan metabolisme mikroorganisme seperti bakteri asam laktat dan kapang untuk mengubah bahan baku. Pemahaman ini mengarah pada eksplorasi **Aplikasi Fermentasi Industri** dan **Teknologi Fermentasi Enzimatis** yang lebih spesifik. Seluruh proses ini diawasi secara ketat melalui **Pengendalian Kualitas Produk Fermentasi** untuk memastikan konsistensi dan keamanan.

Pendahuluan

Bab-bab sebelumnya telah memfokuskan pada penggunaan energi fisik, baik dingin maupun panas, untuk melawan laju kerusakan pangan. Kita telah belajar bagaimana "menghentikan" atau "mereset" jam biologis melalui intervensi termal. Kini, kita akan beralih ke sebuah pendekatan yang secara fundamental berbeda dan lebih elegan. Bab ini akan membawa kita ke dalam dunia pengolahan kimia dan biokimia, di mana kita tidak hanya melawan mikroorganisme, tetapi dalam banyak kasus justru bekerja sama dengan mereka. Kita akan mempelajari bagaimana memanipulasi lingkungan kimia bahan pangan atau memanfaatkan kekuatan

metabolisme mikroorganisme terpilih untuk mengawetkan, mengubah, dan menciptakan produk pangan dengan karakteristik yang sama sekali baru.

Pendekatan pertama yang akan kita bahas adalah penggunaan bahan-bahan kimia alami, yaitu garam, gula, dan asam, sebagai agen pengawet. Jauh sebelum lemari es dan autoklaf ditemukan, peradaban kuno di seluruh dunia telah menguasai seni penggaraman ikan, pemanisan buah, dan pengasaman sayuran.

Metode-metode ini bekerja dengan menciptakan lingkungan yang sangat tidak bersahabat bagi sebagian besar mikroba pembusuk, terutama dengan cara mengurangi ketersediaan air (aktivitas air) atau menurunkan pH. Ini adalah bentuk intervensi kimia yang "pasif", di mana kita mengubah kondisi untuk menghambat kehidupan yang tidak diinginkan.

Pendekatan kedua, dan yang menjadi fokus utama bab ini, adalah fermentasi. Fermentasi adalah sebuah keajaiban bioteknologi kuno, sebuah proses di mana kita secara sengaja mendorong pertumbuhan mikroorganisme tertentu, seperti bakteri asam laktat atau kapang, pada bahan pangan. Mikroorganisme "baik" ini kemudian akan mengubah komponen-komponen dalam bahan baku, seperti gula, menjadi senyawa-senyawa baru seperti asam laktat, alkohol, atau karbon dioksida. Senyawa-senyawa hasil metabolisme ini tidak hanya berfungsi sebagai pengawet alami yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba perusak, tetapi juga menciptakan profil rasa, aroma, dan tekstur yang unik dan kompleks

yang tidak ada pada bahan aslinya. Dari sudut pandang SIKLUS PANGAN, fermentasi adalah contoh sempurna dari Inovasi yang hemat energi dan menciptakan Kualitas sensorik yang superior, sekaligus meningkatkan Utilisasi Sumber Daya dengan mengubah bahan baku sederhana menjadi produk bernilai tambah tinggi.

Melalui fermentasi, kedelai diubah menjadi tempe yang lebih mudah dicerna, susu menjadi yogurt yang menyegarkan, dan ikan menjadi terasi dengan aroma yang kuat. Ini adalah proses "biopreservasi", di mana kita menggunakan kehidupan untuk mengendalikan kehidupan lain. Teknologi fermentasi modern telah berevolusi dari praktik tradisional yang mengandalkan mikroflora alami menjadi sebuah proses industri yang sangat terkontrol, yang menggunakan kultur starter murni untuk memastikan konsistensi dan keamanan produk.

Bab ini akan mengupas kedua pendekatan tersebut secara mendalam. Kita akan mulai dengan menjelajahi mekanisme di balik pengawetan kimia alami, lalu menyelami dasar-dasar ilmiah teknologi fermentasi, aplikasinya di industri, hingga cara mengendalikan kualitasnya. Pemahaman ini akan menunjukkan bahwa pengolahan pangan bukan hanya tentang membunuh mikroba, tetapi juga tentang menjadi "peternak" mikroba yang andal untuk kebaikan kita.

A. Pengawetan dengan Bahan Kimia Alami

Jauh sebelum bahan pengawet sintetis ditemukan, manusia telah mengandalkan senyawa-senyawa kimia sederhana yang tersedia di alam untuk memperpanjang umur simpan makanan. Garam, gula, dan asam (yang sering kali dihasilkan melalui fermentasi awal) adalah trio pengawet alami yang telah menjadi tulang punggung pengawetan pangan selama ribuan tahun. Prinsip kerja dari bahan-bahan ini bukanlah dengan membunuh mikroorganisme secara langsung seperti halnya panas tinggi, melainkan dengan menciptakan kondisi lingkungan yang sangat tidak mendukung bagi pertumbuhan dan aktivitas mereka. Metode ini memanipulasi parameter-parameter intrinsik bahan pangan, terutama aktivitas air (a_w) dan tingkat keasaman (pH), hingga mencapai titik di mana sebagian besar mikroba pembusuk dan patogen tidak dapat bertahan hidup.

Mekanisme utama di balik penggunaan garam dan gula adalah pengendalian aktivitas air. Seperti yang telah kita pelajari, semua mikroorganisme membutuhkan air dalam bentuk yang tersedia (air bebas) untuk melakukan fungsi-fungsi metabolisme. Dengan menambahkan garam atau gula dalam konsentrasi yang tinggi, kita menciptakan larutan hipertonik di sekitar sel-sel mikroba. Melalui proses osmosis, air akan ditarik keluar dari dalam sel mikroba menuju ke larutan yang lebih pekat di luarnya. Dehidrasi seluler yang parah ini akan menyebabkan plasmolisis, yaitu pengerutan sitoplasma, yang pada akhirnya akan menghentikan pertumbuhan

dan bahkan membunuh sel mikroba tersebut. Selain itu, konsentrasi garam dan gula yang tinggi juga memberikan efek samping lain, seperti mengurangi kelarutan oksigen dan mengganggu fungsi membran serta aktivitas enzim mikroba.

Pengasaman, atau asidifikasi, bekerja dengan mekanisme yang berbeda. Metode ini bertujuan untuk menurunkan pH bahan pangan hingga di bawah tingkat di mana sebagian besar bakteri, terutama bakteri patogen, dapat tumbuh. Sebagian besar bakteri pembusuk dan patogen memiliki rentang pH optimal untuk pertumbuhan yang mendekati netral (pH 6,5–7,5) dan tidak dapat tumbuh pada pH di bawah 4,6. Penurunan pH ini dapat dicapai dengan menambahkan langsung asam organik seperti cuka (asam asetat) atau asam sitrat, atau dapat dihasilkan secara alami melalui proses fermentasi, di mana bakteri asam laktat akan mengubah gula menjadi asam laktat.

Efek penghambatan dari pH rendah ini bersifat ganda. Pertama, konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang tinggi di lingkungan eksternal dapat mengganggu fungsi membran sel dan sistem transport nutrien mikroba. Kedua, asam organik yang tidak terdisosiasi dapat menembus membran sel. Begitu berada di dalam sitoplasma yang pH-nya netral, molekul asam ini akan melepaskan ion H^+, yang akan mengasamkan bagian dalam sel dan mendenaturasi protein serta DNA.

Metode pengawetan kimia alami ini, meskipun efektif, sering kali mengubah karakteristik sensorik produk secara signifikan,

seperti rasa yang menjadi sangat asin, manis, atau asam. Namun, dalam banyak kasus, perubahan inilah yang justru menjadi ciri khas dan daya tarik dari produk-produk seperti ikan asin, manisan buah, atau acar sayuran. Pemahaman yang baik tentang mekanisme ini memungkinkan produsen untuk mengoptimalkan konsentrasi pengawet yang digunakan untuk mencapai target keamanan dan umur simpan dengan tetap menjaga palatabilitas produk.

Analogi/Contoh Kasus

Analogi: Menggunakan bahan kimia alami untuk mengawetkan makanan dapat diibaratkan seperti mengubah sebuah "lahan subur" (makanan segar) menjadi "gurun" atau "tanah asam" yang tidak bisa ditanami oleh "gulma" (mikroba perusak). Penggaraman dan pemanisan adalah seperti proses salinisasi, di mana kita menaburkan begitu banyak garam atau mineral ke lahan sehingga semua air yang tersedia menjadi terikat dan tanaman gulma akan layu karena dehidrasi parah. Pengasaman adalah seperti proses kontaminasi tanah dengan zat asam, yang mengubah pH tanah menjadi sangat rendah sehingga akar gulma tidak dapat menyerap nutrisi dan akhirnya mati. Dalam kedua kasus, kita tidak "membakar" gulma dengan api (panas), melainkan mengubah kondisi fundamental dari "tanah" itu sendiri sehingga gulma tidak mungkin bisa tumbuh dan berkembang biak.

1. Penggunaan Garam (Penggaraman) pada Ikan

Penggaraman adalah salah satu metode pengawetan ikan yang paling kuno dan tersebar luas. Mekanisme utamanya adalah

penurunan aktivitas air (a_w) melalui osmosis. Ketika ikan dilumuri atau direndam dalam larutan garam pekat, air akan ditarik keluar dari jaringan ikan, sementara garam akan berpenetrasi masuk ke dalam daging. Proses ini secara efektif mendehidrasi sel-sel mikroba dan jaringan ikan, menciptakan lingkungan di mana sebagian besar bakteri pembusuk tidak dapat bertahan (Ali et al., 2022). Selain itu, ion klorida dari garam bersifat toksik bagi beberapa mikroorganisme dan garam juga mengurangi kelarutan oksigen dalam cairan jaringan, yang menghambat pertumbuhan mikroba aerobik.

Terdapat dua metode penggaraman utama. Penggaraman kering (*dry salting*) melibatkan pelumuran ikan dengan garam kristal padat secara berlapis-lapis. Penggaraman basah (*brining*) melibatkan perendaman ikan dalam larutan garam jenuh. Sering kali, proses penggaraman ini dikombinasikan dengan pengeringan lebih lanjut untuk menurunkan kadar air secara maksimal, menghasilkan produk seperti ikan asin kering yang sangat awet (Waqar et al., 2025). Konsentrasi garam dan lama waktu penggaraman adalah parameter kritis yang harus dikontrol untuk mendapatkan tingkat keawetan dan rasa asin yang diinginkan.

2. Penggunaan Gula (Pemanisan) pada Buah

Sama seperti garam, gula dalam konsentrasi tinggi berfungsi sebagai pengawet dengan cara menurunkan aktivitas air (a_w). Gula, terutama sukrosa, sangat efektif dalam mengikat molekul air, membuatnya tidak tersedia untuk pertumbuhan mikroba. Metode

ini adalah dasar dari pembuatan berbagai produk awetan manis seperti selai, jeli, manisan buah, dan susu kental manis. Untuk mencapai efek pengawetan yang signifikan, konsentrasi gula dalam produk akhir biasanya harus sangat tinggi, sering kali mencapai 65% atau lebih (Lisboa et al., 2024).

Selain efek osmotiknya, konsentrasi gula yang tinggi juga meningkatkan tekanan osmotik internal produk, yang memberikan stabilitas pada tekstur buah-buahan yang diawetkan. Seperti yang dibahas di Bab 6, penggunaan larutan gula pekat juga menjadi dasar dari teknologi dehidrasi osmotik, yang sering digunakan sebagai praperlakuan sebelum pengeringan lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas produk buah kering (Silva & Sobral, 2022).

3. Pengasaman (Asidifikasi) dan Fermentasi Alami

Pengasaman, atau asidifikasi, adalah metode pengawetan dengan cara menurunkan pH produk pangan ke tingkat 4,6 atau lebih rendah. Pada tingkat pH ini, pertumbuhan sebagian besar bakteri patogen, termasuk *Clostridium botulinum*, dapat dihambat secara efektif. Asidifikasi dapat dilakukan secara langsung dengan menambahkan asam yang aman untuk pangan (*food-grade acid*) seperti cuka (asam asetat), asam sitrat (dari lemon), atau asam laktat. Metode ini digunakan dalam pembuatan acar (sayuran yang direndam dalam cuka) dan saus-saus berbasis tomat (Mafe et al., 2024).

Alternatif lain adalah melalui fermentasi alami, di mana mikroorganisme yang secara alami ada pada bahan baku (misalnya,

pada permukaan sayuran) atau yang sengaja ditambahkan (kultur starter) akan memetabolisme karbohidrat (gula) menjadi asam organik. Contoh klasik adalah pembuatan *sauerkraut* (kol asam) atau kimchi, di mana bakteri asam laktat akan memfermentasi gula dalam kol dan menghasilkan asam laktat, yang secara bertahap akan menurunkan pH dan mengawetkan produk sekaligus menciptakan rasa asam yang khas. Proses ini sering disebut sebagai biopreservasi (Fathi et al., 2022).

B. Dasar Teknologi Fermentasi

Fermentasi, dalam konteks ilmu pangan, adalah proses metabolisme di mana mikroorganisme seperti bakteri, khamir, atau kapang secara sengaja ditumbuhkan pada bahan pangan untuk menghasilkan perubahan-perubahan biokimia yang diinginkan. Proses ini merupakan salah satu bentuk bioteknologi tertua yang dimanfaatkan oleh manusia untuk mengawetkan makanan, meningkatkan nilai gizinya, serta menciptakan keragaman rasa, aroma, dan tekstur yang luar biasa. Berbeda dengan pembusukan yang merupakan aktivitas mikroba yang tidak terkendali dan tidak diinginkan, fermentasi adalah proses yang terkendali, di mana kita menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme "baik" sambil menekan pertumbuhan mikroorganisme "jahat" (pembusuk dan patogen).

Inti dari proses fermentasi adalah konversi enzimatik dari komponen-komponen dalam bahan baku (substrat), terutama karbohidrat, menjadi produk-produk akhir (metabolit) seperti asam

organik (asam laktat, asam asetat), alkohol (etanol), dan karbon dioksida. Produk-produk metabolit inilah yang memberikan tiga manfaat utama dari fermentasi. Pertama, manfaat pengawetan; akumulasi asam atau alkohol akan menurunkan pH atau menciptakan lingkungan yang toksik bagi mikroba lain, sehingga memperpanjang umur simpan produk. Kedua, manfaat sensorik; senyawa-senyawa baru yang terbentuk akan menghasilkan profil rasa dan aroma yang kompleks dan unik. Ketiga, manfaat nutrisi; proses fermentasi dapat meningkatkan daya cerna protein dan karbohidrat, mensintesis vitamin-vitamin baru (seperti vitamin B12), dan mengurangi senyawa-senyawa antinutrisi yang ada pada bahan baku.

Keberhasilan sebuah proses fermentasi sangat bergantung pada interaksi yang rumit antara tiga elemen kunci: mikroorganisme yang terlibat, komposisi bahan baku (substrat), dan kondisi lingkungan proses. Mikroorganisme adalah "pekerja"-nya. Spesies dan bahkan galur (*strain*) mikroba yang berbeda akan menghasilkan produk akhir yang berbeda pula dari substrat yang sama. Oleh karena itu, penggunaan kultur starter murni (inokulum yang mengandung mikroorganisme terpilih) menjadi sangat penting dalam fermentasi industri modern untuk memastikan konsistensi dan keamanan produk.

Bahan baku menyediakan "makanan" bagi mikroorganisme. Ketersediaan jenis dan jumlah karbohidrat, protein, serta nutrien lainnya akan menentukan mikroorganisme mana yang dapat

tumbuh dan produk apa yang akan mereka hasilkan. Kondisi lingkungan, seperti suhu, ketersediaan oksigen, pH awal, dan aktivitas air, adalah "aturan main" yang kita tetapkan untuk mengarahkan jalannya fermentasi. Dengan mengontrol parameter-parameter ini secara cermat, kita dapat menciptakan lingkungan yang sangat selektif, yang hanya memungkinkan mikroorganisme yang kita inginkan untuk tumbuh dominan.

Memahami dasar-dasar mikrobiologi dan biokimia dari fermentasi adalah prasyarat untuk dapat mengelola dan mengoptimalkan proses ini. Ini adalah sebuah ilmu tentang bagaimana membina ekosistem mikroba yang bermanfaat untuk mengubah bahan mentah yang sederhana menjadi produk pangan yang bernilai tinggi, aman, dan lezat.

Analogi/Contoh Kasus

Analogi: Proses fermentasi dapat diibaratkan seperti menyelenggarakan sebuah "festival musik" yang sangat eksklusif. Bahan baku adalah panggung dan fasilitas yang disediakan. Mikroorganisme adalah para musisi yang akan tampil. Kondisi lingkungan adalah jenis musik yang diizinkan oleh penyelenggara. Jika kita ingin mengadakan festival musik jazz (fermentasi asam laktat), kita akan memasang pengumuman yang spesifik, mengatur pencahayaan dan akustik panggung agar sesuai untuk jazz (kondisi anaerobik, suhu sedang), dan hanya mengundang musisi-musisi jazz ternama (kultur starter bakteri asam laktat). Akibatnya, musisi rock atau dangdut (bakteri pembusuk) tidak akan tertarik untuk datang

atau tidak akan bisa tampil dengan baik. "Musik" yang dihasilkan (asam laktat) tidak hanya akan dinikmati oleh penonton, tetapi juga akan membuat suasana menjadi tidak nyaman bagi musisi genre lain untuk tampil, sehingga festival tetap didominasi oleh musik jazz.

1. Peran Bakteri Asam Laktat dalam Pangan

Bakteri Asam Laktat (BAL) adalah kelompok bakteri yang sangat penting dalam fermentasi pangan. Ciri khas utama mereka adalah kemampuan untuk memfermentasi gula (terutama glukosa dan laktosa) menjadi asam laktat sebagai produk utama. Produksi asam laktat ini secara cepat akan menurunkan pH bahan pangan, yang memberikan efek pengawetan yang kuat dengan menghambat pertumbuhan sebagian besar bakteri lain, termasuk patogen. BAL secara umum diakui aman untuk dikonsumsi (*Generally Recognized as Safe* atau GRAS) (Lisboa et al., 2024).

Berdasarkan produk akhir fermentasinya, BAL dapat dibagi menjadi dua kelompok. BAL homofermentatif (contoh: *Lactococcus lactis*, beberapa spesies *Lactobacillus*) hampir secara eksklusif mengubah glukosa menjadi asam laktat. BAL heterofermentatif (contoh: *Leuconostoc mesenteroides*, beberapa spesies *Lactobacillus*) menghasilkan campuran asam laktat, etanol/asam asetat, dan karbon dioksida. Produksi CO_2 oleh kelompok ini penting dalam pembentukan "mata" keju atau pengembangan adonan *sourdough*. Selain asam, beberapa galur BAL juga menghasilkan senyawa antimikroba lain seperti bakteriosin (misalnya, nisin), yang semakin meningkatkan keamanan produk (Mafe et al., 2024).

2. Fermentasi Kapang pada Produk Nabati

Berbeda dengan bakteri, kapang (*mold*) adalah mikroorganisme eukariotik berserabut yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan beragam jenis enzim ekstraseluler, seperti protease (pemecah protein), lipase (pemecah lemak), dan amilase (pemecah pati). Kemampuan ini membuat kapang sangat efektif dalam memodifikasi tekstur dan rasa bahan pangan padat, terutama yang berasal dari nabati. Dalam fermentasi pangan, hanya spesies kapang tertentu yang terbukti aman yang digunakan (Fathi et al., 2022).

Contoh yang paling terkenal di Asia adalah fermentasi kedelai menjadi tempe oleh kapang *Rhizopus oligosporus* atau *Rhizopus oryzae*. Hifa (benang-benang) kapang ini akan tumbuh menembus dan mengikat biji-biji kedelai menjadi sebuah massa padat yang kompak. Selama pertumbuhan, kapang akan menghasilkan enzim protease yang memecah protein kompleks kedelai menjadi peptida dan asam amino yang lebih sederhana, sehingga meningkatkan daya cerna dan bioavailabilitas nutrisi. Contoh lain termasuk fermentasi *koji* (beras yang ditumbuhi *Aspergillus oryzae*) yang menjadi bahan dasar untuk pembuatan kecap, tauco, dan sake.

3. Kondisi Lingkungan untuk Fermentasi Optimal

Pengendalian kondisi lingkungan adalah kunci untuk mengarahkan fermentasi ke hasil yang diinginkan. Suhu adalah salah satu parameter yang paling kritis karena setiap mikroorganisme memiliki rentang suhu optimal untuk pertumbuhannya. Fermentasi yogurt, misalnya, biasanya dilakukan pada suhu hangat (40–45 °C) yang

mendukung pertumbuhan bakteri termofilik seperti *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*. Ketersediaan oksigen juga menentukan jalur metabolisme. Fermentasi asam laktat dan alkohol bersifat anaerobik (terjadi tanpa oksigen), sehingga prosesnya sering kali dilakukan dalam wadah tertutup. Sebaliknya, fermentasi kapang (seperti pada tempe) dan fermentasi asam asetat (pembuatan cuka) bersifat aerobik dan memerlukan pasokan oksigen yang cukup.

pH awal dari bahan baku juga dapat memengaruhi mikroorganisme mana yang akan tumbuh pertama kali. Aktivitas air (a_w) dan kandungan garam juga merupakan alat seleksi yang kuat. Pada pembuatan acar, penambahan garam pada tahap awal tidak hanya menarik air dari sayuran, tetapi juga menghambat pertumbuhan banyak bakteri Gram-negatif yang tidak diinginkan, memberikan keuntungan kompetitif bagi bakteri asam laktat yang lebih toleran terhadap garam untuk memulai fermentasi (Ali et al., 2022).

C. Aplikasi Fermentasi Industri

Prinsip-prinsip dasar fermentasi yang telah dibahas sebelumnya menemukan aplikasinya dalam produksi berbagai macam produk pangan di seluruh dunia. Dari skala rumah tangga tradisional hingga pabrik industri modern, fermentasi digunakan untuk mengubah bahan baku pertanian dan perikanan menjadi produk dengan nilai tambah yang tinggi. Proses ini tidak hanya mengawetkan, tetapi juga mentransformasi bahan baku, menciptakan identitas sensorik

yang unik yang sangat dihargai oleh konsumen. Aplikasi industri dari fermentasi menuntut tingkat kontrol, konsistensi, dan keamanan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan fermentasi tradisional. Hal ini sering kali melibatkan penggunaan kultur starter murni, bioreaktor atau fermentor yang terkontrol, serta prosedur pemantauan kualitas yang ketat.

Di negara-negara Asia, termasuk Indonesia, fermentasi telah menjadi bagian tak terpisahkan dari warisan kuliner dan industri pangan. Berbagai produk ikonik lahir dari proses ini, memanfaatkan kekayaan sumber daya lokal. Dari sektor perikanan, keterbatasan akses terhadap pendinginan di masa lalu mendorong pengembangan berbagai metode fermentasi untuk mengawetkan hasil tangkapan yang melimpah. Produk seperti peda, terasi, dan bekasam adalah hasil dari interaksi kompleks antara garam, enzim ikan, dan mikroorganisme halofilik (suka garam), yang menghasilkan produk dengan rasa dan aroma yang sangat kuat dan khas.

Dari sektor pertanian, kedelai menjadi salah satu substrat yang paling banyak difermentasi, menghasilkan produk-produk vital seperti tempe dan tauco. Fermentasi tempe oleh kapang *Rhizopus* adalah contoh bioteknologi substrat padat (*solid-state fermentation*) yang sangat efisien, yang tidak hanya mengawetkan, tetapi juga secara signifikan meningkatkan kualitas nutrisi kedelai. Demikian pula, fermentasi tauco, yang melibatkan dua tahap (fermentasi kapang diikuti oleh fermentasi bakteri dalam larutan

garam), menghasilkan bumbu masak dengan rasa umami yang mendalam.

Kunci dari keberhasilan aplikasi fermentasi di tingkat industri adalah kemampuan untuk mereplikasi proses secara konsisten dari satu *batch* produksi ke *batch* berikutnya. Ketergantungan pada mikroflora alami, seperti dalam metode tradisional, sering kali menghasilkan produk dengan kualitas yang bervariasi. Oleh karena itu, industri modern sangat bergantung pada penggunaan kultur starter. Kultur starter adalah sediaan mikroorganisme murni dengan galur (*strain*) terpilih yang telah diketahui kemampuannya untuk menghasilkan produk dengan karakteristik yang diinginkan secara cepat dan efisien.

Penggunaan kultur starter tidak hanya menjamin konsistensi produk, tetapi juga meningkatkan keamanannya. Dengan menginokulasi bahan baku dengan sejumlah besar mikroorganisme "baik", kita menciptakan sebuah perlombaan di mana mikroba yang kita inginkan akan dengan cepat mendominasi lingkungan, menghabiskan nutrisi dan menghasilkan senyawa penghambat (seperti asam), sehingga tidak memberikan kesempatan bagi mikroba pembusuk atau patogen yang tidak diinginkan untuk tumbuh. Pengendalian proses ini adalah inti dari transisi fermentasi dari sebuah "seni" menjadi sebuah "ilmu" industri.

Analogi/Contoh Kasus

Jendela Industri: Modernisasi Produksi Terasi di Cirebon

Terasi udang merupakan bumbu krusial dalam masakan Indonesia, yang secara tradisional dibuat melalui fermentasi spontan udang rebon dengan garam di bawah sinar matahari. Proses ini sangat bergantung pada cuaca dan sering kali menghasilkan kualitas yang tidak seragam. Sebuah perusahaan pengolahan hasil perikanan di Cirebon memutuskan untuk memodernisasi proses ini. Mereka membangun ruang fermentasi dengan suhu dan kelembaban yang terkontrol. Alih-alih mengandalkan mikroflora alami, setelah proses penggaraman, mereka menginokulasi pasta udang dengan kultur starter bakteri halofilik unggul (seperti *Tetragenococcus halophilus*) yang telah diisolasi dari terasi berkualitas terbaik. Fermentasi kini dilakukan dalam tangki tertutup selama periode waktu yang telah ditentukan. Hasilnya, proses produksi menjadi tidak lagi bergantung pada cuaca, waktu fermentasi dapat dipersingkat, dan yang terpenting, produk terasi yang dihasilkan memiliki profil aroma dan rasa umami yang konsisten serta tingkat keamanan mikrobiologis yang lebih terjamin.

1. Produksi Produk Fermentasi Ikan (Peda/Terasi)

Produk fermentasi ikan secara umum melibatkan penambahan garam dalam jumlah tinggi (15–30%) pada ikan segar atau pasta ikan. Fermentasi ini didorong oleh kombinasi dua proses: autolisis, yaitu pemecahan protein dan lemak ikan oleh enzim endogen (dari dalam ikan itu sendiri), dan aktivitas metabolisme dari

mikroorganisme yang toleran terhadap garam (halofilik), terutama dari kelompok bakteri dan khamir (Ali et al., 2022). Garam berfungsi untuk menarik air, menghambat sebagian besar bakteri pembusuk, dan memelihara pertumbuhan mikroflora fermentatif yang diinginkan.

Pada pembuatan terasi, udang kecil atau ikan dihaluskan menjadi pasta, dicampur dengan garam, dan difermentasi selama beberapa hari hingga minggu. Selama proses ini, enzim protease dari mikroba dan ikan akan memecah protein menjadi peptida dan asam amino (seperti glutamat), yang bertanggung jawab atas rasa umami yang kuat. Pada pembuatan peda, ikan utuh (biasanya ikan kembung) difermentasi dengan garam, di mana proses autolisis di dalam organ pencernaan memainkan peran penting dalam menciptakan tekstur dan aroma yang khas (Waqar et al., 2025).

2. Produksi Produk Fermentasi Nabati (Tempe/Tauco)

Produksi tempe adalah contoh klasik dari fermentasi substrat padat. Prosesnya dimulai dengan perebusan, pengupasan kulit, dan perendaman biji kedelai, yang bertujuan untuk melunakkan biji dan menciptakan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan kapang. Setelah ditiriskan dan didinginkan, kedelai diinokulasi dengan spora kapang *Rhizopus oligosporus* (dikenal sebagai ragi tempe). Kedelai kemudian dikemas tipis (secara tradisional dalam daun pisang atau modern dalam kantong plastik berlubang) dan diinkubasi pada suhu hangat (sekitar 30–37 °C) selama 24–48 jam. Selama inkubasi, hifa

kapang akan tumbuh lebat, mengikat biji kedelai menjadi massa putih yang kompak (Fathi et al., 2022).

Produksi tauco melibatkan proses dua tahap yang lebih kompleks. Tahap pertama mirip dengan pembuatan *koji*, di mana kedelai rebus ditumbuhi kapang (*Aspergillus oryzae*) hingga permukaannya tertutup miselium. Tahap kedua adalah fermentasi basah, di mana kedelai berkapang tersebut direndam dalam larutan garam pekat dan dijemur atau diinkubasi selama beberapa minggu. Selama tahap kedua ini, bakteri dan khamir yang toleran terhadap garam akan tumbuh, melanjutkan proses pemecahan protein dan karbohidrat yang telah dimulai oleh kapang, menghasilkan pasta dengan rasa asin dan umami yang khas (Mafe et al., 2024).

3. Pengendalian Kultur Starter dalam Fermentasi

Kultur starter adalah sediaan mikroorganisme dengan komposisi dan jumlah sel yang diketahui, yang ditambahkan ke bahan baku untuk memulai dan mengarahkan proses fermentasi. Penggunaan kultur starter memberikan beberapa keuntungan besar dibandingkan fermentasi spontan. Pertama, mempercepat laju fermentasi karena sejumlah besar mikroba aktif langsung ditambahkan di awal. Kedua, meningkatkan konsistensi dan prediktabilitas produk akhir karena proses didominasi oleh mikroorganisme dengan sifat yang telah diketahui. Ketiga, meningkatkan keamanan dengan cara menekan pertumbuhan mikroflora yang tidak diinginkan atau patogen melalui dominasi kompetitif (Lisboa et al., 2024).

Kultur starter dapat berupa kultur murni (hanya satu galur mikroba) atau kultur campuran (beberapa galur atau spesies). Pemilihan kultur starter yang tepat sangat penting dan bergantung pada bahan baku serta produk akhir yang diinginkan. Dalam produksi yogurt, misalnya, digunakan kultur campuran *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* yang memiliki hubungan simbiosis. Industri kultur starter modern kini juga mengembangkan kultur dengan fungsi tambahan, seperti kultur bioprotektif (menghasilkan senyawa antimikroba) atau kultur probiotik (memberikan manfaat kesehatan).

D. Teknologi Fermentasi Enzimatis

Di samping fermentasi yang dimediasi oleh sel mikroorganisme hidup secara keseluruhan, terdapat cabang lain dari bioteknologi pangan yang disebut fermentasi enzimatis atau modifikasi enzimatik. Dalam pendekatan ini, alih-alih menggunakan mikroorganisme utuh, kita menggunakan enzim-enzim spesifik yang telah diisolasi dan dimurnikan (baik dari sumber mikroba, nabati, maupun hewani) untuk melakukan reaksi biokimia tertentu pada bahan pangan. Teknologi ini menawarkan tingkat presisi dan kontrol yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan fermentasi mikroba tradisional. Jika fermentasi mikroba ibarat menggunakan seluruh "pabrik" mikroorganisme dengan semua jalur metabolismenya, maka fermentasi enzimatis ibarat menggunakan satu "mesin" spesifik dari pabrik tersebut untuk melakukan satu tugas yang telah ditentukan.

Prinsip dasar dari teknologi ini adalah memanfaatkan aktivitas katalitik enzim. Enzim adalah protein yang berfungsi sebagai biokatalisator, yang berarti enzim dapat mempercepat laju reaksi kimia spesifik secara dramatis tanpa ikut bereaksi. Setiap enzim memiliki spesifisitas yang tinggi terhadap substrat tertentu (molekul yang akan diubah) dan reaksi yang dikatalisisnya. Sebagai contoh, enzim amilase hanya akan memecah pati, enzim protease hanya akan memecah protein, dan enzim laktase hanya akan memecah laktosa. Spesifisitas inilah yang menjadi kekuatan utama dari teknologi enzimatik.

Dengan menggunakan enzim terisolasi, produsen pangan dapat menargetkan transformasi komponen spesifik dalam bahan pangan tanpa menyebabkan perubahan-perubahan lain yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi selama fermentasi mikroba. Misalnya, dalam industri jus buah, penambahan enzim pektinase dapat secara spesifik mendegradasi pektin untuk menjernihkan jus tanpa memengaruhi gula atau senyawa aroma lainnya. Proses ini jauh lebih terkontrol daripada mencoba mencari mikroorganisme yang hanya menghasilkan pektinase tanpa menghasilkan asam atau metabolit lainnya.

Aplikasi teknologi enzimatik dalam industri pangan sangatlah luas dan terus berkembang. Selain untuk penjernihan jus, enzim digunakan untuk meningkatkan keempukan daging (papain, bromelain), memodifikasi sifat fungsional protein, meningkatkan rendemen ekstraksi minyak, mengubah pati menjadi sirup glukosa

atau fruktosa, serta mengembangkan rasa pada produk-produk seperti keju dan ekstrak ragi. Penggunaan enzim memungkinkan produsen untuk meningkatkan efisiensi proses, meningkatkan kualitas produk, dan menciptakan produk-produk baru dengan sifat yang dirancang khusus.

Keberhasilan proses enzimatik bergantung pada pengendalian kondisi reaksi yang optimal untuk aktivitas enzim tersebut, terutama suhu dan pH. Setiap enzim memiliki suhu dan pH optimum di mana aktivitasnya paling tinggi. Di luar rentang optimal ini, aktivitasnya akan menurun. Reaksi juga dapat dihentikan pada waktu yang tepat dengan cara menginaktivasi enzim, biasanya dengan perlakuan panas singkat atau perubahan pH yang drastis. Kontrol yang presisi ini memungkinkan produksi yang sangat konsisten dan dapat diprediksi.

Analogi/Contoh Kasus

Analogi: Bayangkan Anda memiliki sebuah kotak mainan balok Lego yang sangat rumit dan ingin mengambil semua balok berwarna merah saja. Fermentasi mikroba adalah seperti melepaskan sekelompok anak kecil ke dalam ruangan. Mereka akan membongkar seluruh mainan itu, mengambil beberapa balok merah, tetapi juga akan mematahkan beberapa balok biru, mencampuradukkan balok hijau, dan meninggalkan kekacauan umum. Hasilnya mungkin menarik, tetapi tidak terlalu spesifik. Teknologi fermentasi enzimatis adalah seperti menggunakan sebuah "robot pemilah" yang telah diprogram dengan satu instruksi: "ambil hanya balok

merah". Robot ini, yang mewakili enzim spesifik, akan bekerja dengan sangat presisi, membongkar struktur hanya jika diperlukan untuk mengakses balok merah, dan akan mengumpulkan semua balok merah tanpa mengganggu balok warna lain. Prosesnya sangat bersih, terkontrol, dan efisien untuk mencapai satu tujuan yang sangat spesifik.

1. Mekanisme Hidrolisis Enzimatis

Hidrolisis enzimatis adalah jenis reaksi yang paling umum dimanfaatkan dalam pengolahan pangan. Hidrolisis secara harfiah berarti "pemecahan oleh air". Dalam reaksi ini, enzim memfasilitasi pemecahan makromolekul besar (polimer) seperti protein, karbohidrat kompleks (pati, selulosa), atau lemak menjadi molekul-molekul yang lebih kecil (monomer atau oligomer) dengan penambahan molekul air. Sebagai contoh, enzim protease mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida yang menghubungkan asam-asam amino dalam rantai protein, menghasilkan peptida yang lebih pendek dan asam amino bebas (Waqar et al., 2025).

Enzim amilase menghidrolisis ikatan glikosidik pada pati, menghasilkan dekstrin, maltosa, dan glukosa. Enzim lipase menghidrolisis ikatan ester pada trigliserida (lemak), melepaskan asam lemak dan gliserol. Laju reaksi hidrolisis ini dipengaruhi oleh konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, suhu, dan pH. Proses ini memungkinkan modifikasi fungsionalitas dan sifat sensorik bahan pangan, seperti pelunakan, peningkatan kelarutan, atau pembentukan prekursor rasa (Fathi et al., 2022).

2. Aplikasi Enzim untuk Peningkatan Cita Rasa

Enzim memainkan peran kunci dalam pengembangan dan intensifikasi cita rasa pada banyak produk pangan. Dalam pembuatan keju, misalnya, enzim lipase sering ditambahkan selama pematangan untuk menghidrolisis lemak susu, melepaskan asam-asam lemak rantai pendek (seperti asam butirat) yang memberikan aroma tajam dan khas pada keju-keju tertentu seperti keju biru. Enzim protease juga berkontribusi pada rasa dengan menghasilkan peptida dan asam amino, termasuk glutamat yang memberikan rasa umami (Ali et al., 2022).

Dalam produksi ekstrak ragi atau HVP (*Hydrolyzed Vegetable Protein*), yang digunakan sebagai penyedap rasa, protease digunakan untuk menghidrolisis protein dari ragi atau sumber nabati (seperti kedelai) secara ekstensif untuk memaksimalkan produksi asam amino bebas, terutama asam glutamat. Enzim lain, seperti nuklease, dapat digunakan untuk memecah asam nukleat menjadi nukleotida (seperti IMP dan GMP) yang juga merupakan senyawa penegas rasa umami yang kuat (Mafe et al., 2024).

3. Pengendalian Reaksi Enzimatis dalam Fermentasi

Meskipun kita membedakan antara fermentasi mikroba dan enzimatis, penting untuk diingat bahwa fermentasi mikroba itu sendiri pada dasarnya adalah hasil dari serangkaian reaksi enzimatis yang dilakukan oleh sel hidup. Namun, dalam konteks pengendalian, "fermentasi enzimatis" merujuk pada penggunaan enzim yang ditambahkan secara eksternal. Pengendalian reaksi ini relatif lebih

sederhana daripada mengendalikan metabolisme sel hidup. Parameter utamanya adalah mengoptimalkan suhu dan pH sesuai dengan karakteristik enzim yang digunakan.

Waktu reaksi adalah parameter kontrol kritis lainnya. Reaksi dibiarkan berjalan hanya selama waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat hidrolisis atau modifikasi yang diinginkan. Setelah itu, reaksi harus segera dihentikan untuk mencegah hidrolisis yang berlebihan yang dapat menyebabkan rasa pahit (dari peptida hidrofobik) atau kerusakan tekstur. Penghentian reaksi biasanya dilakukan dengan inaktivasi termal, yaitu memanaskan produk dengan cepat ke suhu yang cukup tinggi untuk mendenaturasi enzim secara permanen. Pengendalian yang presisi ini memastikan konsistensi produk dari *batch* ke *batch* (Lisboa et al., 2024).

E. Pengendalian Kualitas Produk Fermentasi

Produk pangan fermentasi adalah hasil dari ekosistem mikroba yang dinamis. Meskipun proses ini dapat menghasilkan produk dengan karakteristik yang sangat diinginkan, sifat biologisnya juga membawa variabilitas dan risiko yang harus dikelola dengan cermat. Pengendalian kualitas pada produk fermentasi adalah disiplin ilmu yang komprehensif, yang bertujuan untuk memastikan bahwa produk akhir tidak hanya memiliki atribut sensorik (rasa, aroma, tekstur) yang konsisten dan sesuai standar, tetapi juga aman untuk dikonsumsi. Pengendalian ini tidak hanya dilakukan pada produk akhir, tetapi harus diterapkan di seluruh rantai produksi, mulai dari

bahan baku, kultur starter, pengendalian proses fermentasi itu sendiri, hingga pengemasan dan penyimpanan.

Salah satu aspek utama dari pengendalian kualitas adalah pemantauan perubahan-perubahan biokimia yang terjadi selama fermentasi. Fermentasi adalah sebuah proses transformasi, dan kita perlu melacak sejauh mana transformasi ini telah berjalan untuk menentukan kapan proses harus dihentikan. Metode analisis kimia sederhana seperti pengukuran pH atau titrasi untuk menentukan total asam tertitrasi (TAT) adalah alat yang sangat umum dan efektif untuk memantau perkembangan fermentasi asam laktat. Pada pembuatan yogurt atau keju, penurunan pH ke tingkat target tertentu adalah indikator kunci bahwa fermentasi telah berjalan dengan baik dan produk siap untuk didinginkan.

Selain analisis kimia, uji sensoris atau organoleptik memainkan peran yang sangat vital dalam mengevaluasi kualitas produk fermentasi. Sering kali, kompleksitas rasa dan aroma yang dihasilkan selama fermentasi tidak dapat diukur sepenuhnya dengan instrumen kimia. Panelis terlatih digunakan untuk mengevaluasi atribut-atribut seperti tingkat keasaman, intensitas rasa umami, keseimbangan aroma, dan tekstur produk. Uji sensoris ini penting untuk memastikan bahwa produk akhir sesuai dengan profil yang diharapkan oleh konsumen dan untuk mendeteksi adanya penyimpangan rasa atau aroma (*off-flavor*) yang mungkin mengindikasikan adanya masalah dalam proses atau kontaminasi.

Aspek keamanan adalah pilar terpenting dalam pengendalian kualitas. Meskipun fermentasi yang berhasil sering kali menghasilkan lingkungan yang tidak ramah bagi patogen (karena pH rendah atau adanya alkohol dan bakteriosin), risiko kontaminasi tetap ada. Kontaminasi dapat berasal dari bahan baku yang berkualitas buruk, sanitasi peralatan yang tidak memadai, atau kultur starter yang terkontaminasi. Kontaminasi oleh kapang yang tidak diinginkan, misalnya, dapat menghasilkan mikotoksin yang berbahaya. Oleh karena itu, penerapan praktik higiene yang baik (GMP), penggunaan bahan baku berkualitas tinggi, dan pengendalian proses yang ketat adalah langkah-langkah pencegahan yang fundamental.

Pengendalian kualitas produk fermentasi adalah tentang manajemen proses. Ini adalah tentang memastikan bahwa kita secara konsisten menciptakan kondisi yang tepat bagi mikroorganisme yang tepat untuk melakukan pekerjaan yang tepat, sambil terus waspada terhadap segala sesuatu yang dapat berjalan salah. Dengan pendekatan yang sistematis ini, produsen dapat mengubah proses biologis yang kompleks menjadi operasi industri yang andal dan aman.

Analogi/Contoh Kasus

Analogi: Mengendalikan kualitas proses fermentasi anggur (*wine-making*) dapat diibaratkan seperti mengasuh seorang anak dari bayi hingga dewasa untuk menjadi seorang seniman. Analisis perubahan kimia (mengukur kadar gula dan asam) adalah seperti memantau

"nilai rapor" akademis anak tersebut secara berkala untuk memastikan ia mencapai tonggak perkembangan yang diharapkan. Uji sensoris adalah seperti menghadiri "pentas seni" atau "konser musik" anak tersebut. Ini adalah cara untuk mengevaluasi "bakat" dan "kreativitasnya" yang tidak bisa diukur dari nilai rapor saja. Pencegahan kontaminasi adalah seperti memastikan anak tersebut bergaul dengan "teman-teman yang baik" (kultur starter murni) dan tidak terjerumus ke dalam "lingkungan pergaulan yang buruk" (mikroba kontaminan) yang bisa merusak potensinya. Seorang "orang tua" yang baik (produsen) harus memperhatikan semua aspek ini untuk memastikan "anak"-nya (produk anggur) tumbuh menjadi "karya" yang luar biasa dan tidak mengecewakan.

1. Analisis Perubahan Komposisi Kimia Selama Fermentasi

Pemantauan perubahan kimia adalah cara objektif untuk melacak kemajuan fermentasi. Metode yang paling umum adalah pengukuran pH, yang menunjukkan akumulasi asam. Untuk fermentasi asam laktat, Total Asam Tertitrasi (TAT), yang mengukur konsentrasi total asam (dinyatakan sebagai % asam laktat), memberikan gambaran yang lebih akurat tentang produksi asam. Dalam fermentasi alkoholik, pemantauan penurunan kadar gula (substrat) menggunakan refraktometer (mengukur °Brix) atau pengukuran peningkatan kadar etanol (produk) menggunakan hidrometer atau metode kromatografi gas (*Gas Chromatography*/GC) adalah praktik standar (Mafe et al., 2024).

Untuk analisis yang lebih mendalam, Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (*High-Performance Liquid Chromatography* atau HPLC) dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi spesifik dari masing-masing asam organik (laktat, asetat, sitrat), gula, atau alkohol. Analisis ini penting untuk R&D dan pemecahan masalah, karena rasio antara metabolit yang berbeda dapat sangat memengaruhi profil rasa akhir produk (Fathi et al., 2022).

2. Uji Sensoris Produk Fermentasi

Uji sensoris sangat krusial karena instrumen kimia tidak dapat sepenuhnya menangkap pengalaman manusia terhadap rasa dan aroma. Uji ini dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Uji pembedaan (*discrimination test*), seperti uji segitiga, digunakan untuk menentukan apakah ada perbedaan yang dapat dirasakan antara dua sampel (misalnya, produk dari *batch* yang berbeda atau produk yang menggunakan kultur starter baru). Uji deskriptif (*descriptive test*) menggunakan panelis yang sangat terlatih untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi atribut-atribut sensoris spesifik dari suatu produk, menciptakan sebuah "sidik jari" sensoris (Lisboa et al., 2024).

Uji afektif atau uji kesukaan (*hedonic test*) melibatkan konsumen biasa untuk menilai tingkat penerimaan atau kesukaan mereka terhadap suatu produk. Uji ini penting selama tahap pengembangan produk baru atau untuk memastikan produk yang ada tetap sesuai dengan selera pasar. Kombinasi data sensoris dan

data kimia memberikan gambaran kualitas yang paling komprehensif.

3. Pencegahan Kontaminasi oleh Mikroba Patogen

Meskipun fermentasi menciptakan lingkungan yang menghambat, beberapa patogen seperti *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, dan *E. coli* O157:H7 dapat bertahan hidup dalam kondisi asam jika populasi awal mereka sangat tinggi. Oleh karena itu, pencegahan adalah kuncinya. Langkah pertama dan terpenting adalah penggunaan bahan baku berkualitas tinggi yang memiliki beban mikroba awal yang rendah. Pasteurisasi bahan baku sebelum inokulasi (seperti pada susu untuk yogurt atau keju) adalah langkah yang sangat efektif untuk membunuh patogen awal dan "mereset" lingkungan mikroba sebelum menambahkan kultur starter (Mafe et al., 2024).

Penerapan sanitasi dan higiene yang ketat (GMP dan HACCP) di seluruh area produksi sangat penting untuk mencegah kontaminasi silang dari lingkungan, peralatan, atau personel. Penggunaan kultur starter yang aktif dan murni dalam jumlah yang cukup akan memastikan fermentasi berjalan cepat, menghasilkan penurunan pH yang cepat yang merupakan salah satu penghalang terpenting terhadap pertumbuhan patogen. Untuk beberapa produk, pengujian mikrobiologis rutin untuk patogen spesifik pada produk akhir merupakan bagian dari program verifikasi keamanan pangan.

Rangkuman Bab

1. Pengawetan kimia alami memanfaatkan garam dan gula untuk menurunkan aktivitas air (a_w) melalui osmosis, serta asam untuk menurunkan pH, sehingga menciptakan lingkungan yang menghambat pertumbuhan mikroba.
2. Fermentasi adalah proses bioteknologi terkontrol yang menggunakan mikroorganisme (bakteri, khamir, kapang) untuk mengubah bahan baku menjadi produk dengan rasa, aroma, tekstur, dan keawetan yang lebih baik.
3. Bakteri Asam Laktat (BAL) berperan penting dalam memproduksi asam laktat yang mengawetkan dan memberi rasa asam, sementara kapang (seperti *Rhizopus* pada tempe) menghasilkan enzim yang memecah protein dan mengikat substrat padat.
4. Keberhasilan fermentasi industri bergantung pada pengendalian kondisi lingkungan (suhu, oksigen, pH) dan penggunaan kultur starter murni untuk menjamin konsistensi dan keamanan.
5. Teknologi fermentasi enzimatis menggunakan enzim terisolasi untuk melakukan reaksi biokimia spesifik (seperti hidrolisis) dengan presisi tinggi, yang digunakan untuk meningkatkan rasa, tekstur, atau efisiensi proses.
6. Pengendalian kualitas produk fermentasi melibatkan pemantauan perubahan kimia (misalnya, pH dan total asam), evaluasi sensoris oleh panelis terlatih, dan pencegahan

kontaminasi melalui sanitasi yang ketat dan penggunaan bahan baku berkualitas.

7. Produk fermentasi ikonik Indonesia seperti terasi, peda, tempe, dan tauco adalah contoh aplikasi prinsip-prinsip ini pada komoditas perikanan dan pertanian lokal.

Latihan Mahasiswa

Soal Esai

1. Jelaskan mekanisme pengawetan yang terjadi saat ikan direndam dalam larutan garam pekat. Bandingkan mekanisme ini dengan mekanisme pengawetan yang terjadi saat kol difermentasi menjadi *sauerkraut*.
2. Anda adalah seorang produsen tempe. Jelaskan peran kapang *Rhizopus oligosporus* dalam proses pembuatan tempe, baik dari segi perubahan fisik maupun perubahan biokimia pada kedelai. Sebutkan tiga kondisi lingkungan yang harus Anda kontrol selama inkubasi untuk memastikan keberhasilan fermentasi.
3. Mengapa penggunaan kultur starter lebih disukai dalam produksi yogurt skala industri dibandingkan dengan fermentasi spontan? Jelaskan minimal tiga keuntungan utama dari penggunaan kultur starter.
4. Bandingkan dan kontraskan antara proses fermentasi mikroba (contoh: pembuatan yogurt) dengan proses modifikasi enzimatis (contoh: penjernihan jus apel dengan pektinase).

Tinjau dari segi agen biokatalis, tingkat spesifisitas, dan kontrol proses.

5. Jelaskan tiga metode berbeda (satu kimia, satu sensoris, satu mikrobiologis) yang dapat digunakan untuk mengendalikan kualitas keju selama proses pematangan.

Soal Pilihan Ganda

1. Mekanisme utama pengawetan pada produk selai buah dengan kandungan gula 65% adalah...
   a. Penurunan pH yang drastis
   b. Produksi alkohol oleh khamir
   c. Penurunan aktivitas air (a_w)
   d. Inaktivasi enzim oleh panas
2. Bakteri yang berperan utama dalam fermentasi susu menjadi yogurt dan produk-produk susu fermentasi lainnya adalah...
   a. Bakteri asam asetat
   b. Bakteri asam laktat (BAL)
   c. Bakteri *coliform*
   d. Bakteri pembentuk spora
3. Pada pembuatan tempe, hifa dari kapang *Rhizopus oligosporus* berfungsi untuk...
   a. Menghasilkan alkohol untuk mengawetkan
   b. Mengikat biji-biji kedelai menjadi massa yang kompak
   c. Mengubah warna kedelai menjadi hitam

d. Membuat kedelai menjadi cair

4. Penggunaan enzim protease yang diisolasi untuk mengempukkan daging adalah contoh dari...

   a. Fermentasi mikroba
   b. Teknologi fermentasi enzimatis
   c. Pengawetan dengan pengasaman
   d. Fermentasi spontan

5. Parameter kimia yang paling umum dan mudah diukur untuk memantau kemajuan proses fermentasi asam laktat adalah...

   a. Kadar protein
   b. Kadar etanol
   c. pH
   d. Warna

6. Pembuatan cuka dari sari buah melibatkan fermentasi alkohol oleh khamir yang diikuti oleh fermentasi oleh bakteri asam asetat dalam kondisi...

   a. Anaerobik (tanpa oksigen)
   b. Aerobik (membutuhkan oksigen)
   c. Suhu yang sangat rendah (-18 °C)
   d. Tekanan yang sangat tinggi

7. Senyawa antimikroba berbasis protein yang diproduksi oleh beberapa galur bakteri asam laktat untuk menghambat bakteri lain disebut...

a. Asam laktat
b. Bakteriosin
c. Antibiotik
d. Enzim

8. Tauco adalah produk fermentasi kedelai yang melibatkan dua tahap, yaitu fermentasi oleh...

a. Bakteri, diikuti oleh khamir
b. Khamir, diikuti oleh bakteri
c. Kapang, diikuti oleh bakteri dan khamir dalam larutan garam
d. Bakteri, diikuti oleh kapang dalam larutan gula

9. Salah satu cara paling efektif untuk menghentikan reaksi enzimatis pada waktu yang diinginkan adalah dengan...

a. Menambahkan lebih banyak substrat
b. Mendinginkan produk secara perlahan
c. Mengaduk campuran dengan cepat
d. Inaktivasi termal (pemanasan cepat)

10. Dalam pengendalian kualitas, pasteurisasi susu sebelum difermentasi menjadi yogurt bertujuan untuk...

a. Menambah rasa manis pada susu
b. Membunuh mikroorganisme patogen dan kompetitor dari kultur starter
c. Meningkatkan kandungan lemak susu
d. Membuat susu menjadi lebih kental

Studi Kasus atau Tugas Kontekstual

1. **Pemecahan Masalah Fermentasi Acar:** Seorang produsen acar mentimun skala kecil mengeluh bahwa produknya terkadang menjadi lunak dan berlendir, bukannya renyah dan asam. Berdasarkan pengetahuan Anda tentang fermentasi, identifikasi tiga kemungkinan penyebab kegagalan fermentasi ini (misalnya, terkait konsentrasi garam, suhu, atau kebersihan). Untuk setiap penyebab, jelaskan mengapa hal itu dapat menyebabkan produk menjadi rusak dan berikan saran perbaikan.
2. **Desain Produk Minuman Probiotik:** Anda ditugaskan untuk merancang sebuah produk minuman jus mangga fermentasi yang mengandung bakteri probiotik. Pilihlah satu spesies bakteri asam laktat yang dikenal sebagai probiotik. Rancanglah diagram alir proses produksi sederhana, mulai dari jus mangga segar hingga produk akhir dalam kemasan. Berikan perhatian khusus pada tahap mana kultur starter probiotik akan ditambahkan dan bagaimana Anda akan memastikan bakteri tersebut tetap hidup dalam jumlah yang cukup di produk akhir hingga sampai ke tangan konsumen.

GLOSARIUM BAB

1. **Asidifikasi:** Proses penurunan pH suatu bahan pangan, baik dengan penambahan asam secara langsung maupun melalui fermentasi.
2. **Autolisis:** Proses perombakan jaringan oleh enzim yang berasal dari dalam jaringan itu sendiri, umum terjadi pada fermentasi ikan.
3. **Bakteri Asam Laktat (BAL):** Kelompok bakteri yang memfermentasi karbohidrat menjadi asam laktat sebagai produk utama.
4. **Bakteriosin:** Peptida atau protein antimikroba yang dihasilkan oleh bakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri lain yang sejenis atau berkerabat dekat.
5. **Fermentasi:** Proses metabolisme terkontrol oleh mikroorganisme untuk menghasilkan perubahan biokimia yang diinginkan pada bahan pangan.
6. **Halofilik:** Sifat mikroorganisme yang dapat tumbuh dan bertahan hidup pada kondisi kadar garam yang tinggi.
7. **Hidrolisis:** Reaksi kimia pemecahan suatu molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana dengan melibatkan molekul air.
8. **Homofermentatif:** Tipe fermentasi oleh BAL di mana hampir seluruh gula diubah menjadi asam laktat.

9. **Heterofermentatif:** Tipe fermentasi oleh BAL di mana gula diubah menjadi campuran asam laktat, etanol/asetat, dan CO_2.
10. **Kultur Starter:** Sediaan berisi satu atau lebih jenis mikroorganisme terpilih yang ditambahkan pada bahan baku untuk memulai fermentasi.
11. **Osmosis:** Pergerakan bersih molekul pelarut (misalnya air) melintasi membran semipermeabel dari daerah konsentrasi pelarut tinggi ke daerah konsentrasi pelarut rendah.
12. **Plasmolisis:** Proses pengerutan membran sel dan sitoplasma menjauhi dinding sel pada sel (tumbuhan atau mikroba) akibat kehilangan air melalui osmosis.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research progress on nutritional value, preservation and processing of fish: A review. *Foods, 11*(22), 3669.

Fathi, F., Ebrahimi, S. N., Matos, L. C., Oliveira, M. B. P. P., & Alves, R. C. (2022). Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21*(2), 1–32.

Harnentis, H., Marlida, Y., Anggraini, T., & Nur, Y. S. (2022). A review: Lactic acid bacteria in the fermentation of traditional foods in West Sumatra, Indonesia. *Food Science and Technology, 42*, e93821.

Lisboa, H., Pasquali, M. B., Anjos, A. I. M. D., Sarinho, A., De Melo, E. D., Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y., & Barros, A. (2024). Innovative and sustainable food preservation techniques: Enhancing food quality, safety, and environmental sustainability. *Sustainability, 16*(18), 8223.

Mafe, A. N., Edo, G., Makia, R., Joshua, O. A., Akpoghelie, P. O., Gaaz, T., Jikah, A. N., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Ahmed, D. S., Essaghah, A. E., & Umar, H. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial

aspects of food preservation and processing. *Food Chemistry Advances, 5*, 100852.

Nuraida, L. (2021). A review of the microbiology of Indonesian traditional fermented foods. *International Journal of Food Microbiology, 347*, 109191.

Osimani, A., & Aquilanti, L. (2021). A review on the use of starter cultures for the production of fermented vegetables. *Journal of Applied Microbiology, 131*(1), 58–71.

Silva, M. A., & Sobral, P. J. A. (2022). Osmotic dehydration of foods: A review. *Journal of Food Science and Technology, 59*(5), 1667–1681.

Tamang, J. P., Cotter, P. D., Endo, A., Han, N. S., Kort, R., Liu, S. Q., ... & Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19*(1), 184–217.

Waqar, M., Sajjad, N., Ullah, Q., Vasanthkumar, S., Ahmed, F., Panpipat, W., Aluko, R., Kaur, L., Chaijan, M., & Ageru, T. A. (2025). Fish by-products utilization in food and health: Extraction technologies, bioactive, and sustainability challenges. *Food Science & Nutrition, 13*(1).

Zapaśnik, A., Sokołowska, B., & Bryła, M. (2022). Role of lactic acid bacteria in food, health and industrial applications. *Molecules, 27*(6), 1906.

Zinoviadou, K. G. (2023). The role of enzymes in food processing. In *Handbook of Food Processing: Food Science and Technology*. CRC Press.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Rita Hayati, M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, kemudian melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Ilmu Pertanian, pemusatan Agronomi, Universitas Andalas. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan S3 pada Program Studi Ilmu Pertanian, pemusatan Bioteknologi, Universitas Andalas.

Penulis dipercaya sebagai pengampu beberapa mata kuliah, yaitu Bioteknologi Pertanian, Mikrobiologi, Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian, Genetika, Pemuliaan Tanaman, Biokimia Pertanian, serta Kultur Jaringan. Penulis telah menulis beberapa buku, yaitu

Inovasi Teknologi Budidaya Tanaman, *Manajemen Higiene dan Sanitasi Pangan*, *Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan*, *Bioteknologi Kultur Jaringan*, *Mikrobiologi*, *Pengantar Teknologi Pangan*, *Pengantar Bioteknologi*, *Pertanian Organik Solusi untuk Masa Depan*, serta *Pengantar Ilmu dan Teknologi Pangan*.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ritahayati@umb.ac.id

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Rita Feni, M.Si.

Dosen Program Studi Agribisnis, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Lubuk Linggau pada tanggal 26 Februari 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Tanaman, Universitas Bengkulu (UNIB), dan melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Agribisnis, Universitas Sriwijaya (UNSRI), Palembang.

Saat ini, penulis mengajar pada Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu sebagai dosen PNSD. Mata kuliah yang diajarkan adalah Ekonomi Pertanian, Pemasaran Agribisnis, Pengantar Agribisnis,

Studi Kelayakan Bisnis, Ekonomi Mikro, Agribisnis Peternakan, dan Agribisnis Perikanan. Selain membimbing dan menguji mahasiswa S1, penulis juga aktif menulis artikel di jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ritafeni@umb.ac.id

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Jafrizal, M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Saskand Malalak pada tanggal 5 Maret 1968. Penulis adalah dosen tetap (PNSD) pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Mekanisasi Pertanian, Universitas Andalas, Padang, dan melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Institut Pertanian Bogor, serta S2 pada Program Studi Pengelolaan Lingkungan dan Sumber Daya Alam, Universitas Bengkulu. Penulis menekuni bidang lingkungan dan pertanian organik.

Di samping berkegiatan di kampus, penulis juga aktif dalam penyusunan dokumen lingkungan hidup dengan kompetensi sebagai

Anggota Tim Penyusun Amdal (ATPA). Saat ini, penulis dipercaya sebagai Bendahara Dewan Pengurus Perkumpulan Tenaga Ahli Lingkungan Hidup Indonesia (PERTALINDO) Provinsi Bengkulu masa bakti 2021–2025 dan Ketua Majelis Pemberdayaan Masyarakat Pimpinan Wilayah Muhammadiyah Bengkulu masa jabatan 2022–2027.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: jafrizalumb@gmail.com

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Edy Marwan, M.M.

Dosen Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Bengkulu pada tanggal 30 Maret 1967. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian, Universitas Bengkulu, dan S2 pada Jurusan Manajemen, Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: edymarwan@umb.ac.id

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Suryadi, M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Ir. Suryadi, M.P. lahir di Pangkalpinang pada tanggal 1 Januari 1967. Penulis menyelesaikan studi S1 di Universitas Bengkulu pada tahun 1991 dan S2 di Universitas Andalas (UNAND), Padang, pada tahun 1997. Pada tahun 1994, penulis mulai mengajar di Universitas Muhammadiyah Bengkulu hingga sekarang pada Fakultas Pertanian.

Mata kuliah yang diampu antara lain Pengantar Agroteknologi, Metodologi Penelitian Pertanian, Budidaya Tanaman Perkebunan, Budidaya Tanaman Hortikultura, Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Program

Studi (1997–2001), Wakil Dekan II (2001–2004), Dekan Fakultas Pertanian UMB (2004–2007), Wakil Rektor I UMB (2007–2011), dan Wakil Rektor IV UMB (2011–2015).

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: suryadibkl486@gmail.co

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Neti Kesumawati, M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Curup pada tanggal 21 September 1963. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian dan melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan. Penulis menekuni bidang menulis.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:

kesumawatineti30@gmail.com

---000---

BIODATA PENULIS



Dr. Edi Efrita, SP., MP.

Dosen Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Bengkulu pada tanggal 27 April 1969. Penulis menempuh pendidikan Program Sarjana pada Program Studi Agronomi, Jurusan Budidaya Tanaman Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, dan memperoleh gelar Sarjana Pertanian (S.P.) pada tahun 1993. Pada tahun 1998, penulis memperoleh gelar Magister Pertanian (M.P.) pada Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran, Bandung. Gelar Doktor (Dr.) diperoleh penulis pada Program Studi Doktor (S3) Ilmu Pertanian, bidang Ilmu Agribisnis, Program Pascasarjana, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya pada tahun 2017.

Sejak tahun 1994 hingga saat ini, penulis terus berkarier sebagai dosen di Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis aktif menulis di bidang agribisnis dan ketahanan pangan.

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Yukiman Armadi, M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Bengkulu Selatan pada tanggal 9 Juli 1966. Penulis adalah dosen PNS yang diperkerjakan (DPK) pada Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, dan melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Agronomi, Institut Pertanian Bogor.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: yukiman001@gmail.com

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Edwar Suharnas, M.P.

Dosen Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Padang Pariaman pada tanggal 5 Oktober 1968. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Andalas, Padang, kemudian melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Ilmu Peternakan.

Penulis menekuni bidang penulisan dan memiliki minat pada bidang nutrisi dan makanan ternak. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: edwarsuharnas@gmail.com.

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Jon Yawahar, M.Si.

Dosen Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Penulis lahir di Pg. Meranti pada tanggal 13 Agustus 1966. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian, Universitas Bengkulu, dan S2 pada Jurusan Ilmu Lingkungan, Universitas Andalas.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: jonyawahar@umb.ac.id

---000---

BIODATA PENULIS



Ir. Rita Zurina Muchlis, M.P.

Dosen Program Studi Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

Penulis lahir di Padang pada tanggal 14 Agustus 1967. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 pada Jurusan Produksi Ternak dan melanjutkan pendidikan S-2 pada Jurusan Ilmu Ternak.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ritazurina@umb.ac.id.

---000---

DAPATKAN BUKU INI MELALUI WEBSITE DAN E-COMMERCE LUMINARY PRESS INDONESIA

Website: https://www.luminarypress.id/

Produk: https://www.luminarypress.id/product/teknologi-pengolahan-hasil-pertanian-dan-perikanan-jilid-i/

Shopee: luminarypressindonesia: https://id.shp.ee/M6PArjj