TEORI DAN PRAKTIK

Pengujian Masa Simpan PRODUK PANGAN

Penulis:
Nurul Asiah, Rizki Maryam Astuti, Widia Susilawati, Alifia Marsya Khairina

Teori dan Praktik Pengujian Masa Simpan Produk Pangan

UU No. 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta pada Pasal 4

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

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

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

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

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan /atau pidana denda paling banyak Rp 100.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000 (lima ratus juta rupiah).

Teori dan Praktik Pengujian Masa Simpan Produk Pangan

Penulis:
Nurul Asiah, Rizki Maryam Astuti,
Widia Susilawati dan Alifia Marsya Khairina

Penerbitan Universitas Bakrie

Teori dan Praktik Pengujian Masa Simpan Produk Pangan

Jumlah halaman : viii, 202
Ukuran halaman : 15,5 x 23 cm

ISBN : 978-602-7989-80-1 (PDF)

Penulis :

- Nurul Asiah
- Rizki Maryam Astuti
- Widia Susilawati
- Alifia Marsya Khairina

Cover dan Layout :
Alifia Marsya Khairina

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.
Siapapun dilarang keras menerjemahkan, mencetak, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Terbitan Pertama : Agustus 2025

Diterbitkan oleh:
Universitas Bakrie Press
(Penerbit Anggota IKAPI No. 638/Anggota Luar Biasa/DKI/2024)

Komplek Rasuna Epicentrum,
Jl. HR. Rasuna Said, Setiabudi, Kuningan
Jakarta 12940
https://ubakriepress.bakrie.ac.id/
email: ubakriepress@bakrie.ac.id

Prakata

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT. Berkat rahmat, bimbingan, dan karunia-Nya, buku ini yang berjudul "**Teori dan Praktik Pengujian Masa Simpan Produk Pangan**" akhirnya dapat diselesaikan. Shalawat serta salam juga terhatur pada junjungan nabi besar Muhammad SAW. Kami meyakini bahwa tidak ada satu huruf pun yang tertulis tanpa izin dan kehendak-Nya. Oleh karena itu, jika buku ini membawa manfaat bagi siapa pun yang membacanya, maka segala puji dan terima kasih kami kembalikan sepenuhnya kepada Yang Maha Pemberi Ilmu.

Dalam dunia produksi dan pengembangan produk pangan, khususnya yang dikemas dan dipasarkan ke masyarakat luas, informasi mengenai masa simpan bukan lagi sekadar pelengkap label, melainkan menjadi bagian yang sangat penting dan wajib ditampilkan. Masa simpan merupakan bentuk tanggung jawab produsen terhadap keamanan (*food safety*) dan mutu (*food quality*) produk pangan. Konsumen berhak tahu sejauh mana produk yang mereka beli aman dan layak dikonsumsi.

Buku ini hadir sebagai bentuk kontribusi kami untuk membantu para peneliti, staf *Research and Development* (R&D), pelaku usaha pangan—baik skala kecil, menengah, maupun besar—agar memiliki pemahaman yang lebih komprehensif mengenai konsep masa simpan dan mampu melakukan pengujian secara mandiri dengan metode yang sesuai.

Secara umum, pendugaan masa simpan dapat dilakukan dengan pendekatan berbasis perubahan mutu fisik, kimia, maupun sensori. Buku ini memberikan pemahaman teori yang memadai sekaligus menyajikan panduan langkah-langkah praktis dalam melakukan uji masa simpan, dilengkapi dengan beberapa metode pendekatan yang dapat disesuaikan dengan karakteristik produk pangan. Kami berharap buku ini tidak hanya menjadi referensi teknis, tetapi juga sumber inspirasi dan pembelajaran berkelanjutan bagi para pelaku industri pangan dan akademisi.

Kami juga menyadari bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi terus berkembang. Oleh karena itu, seiring berjalannya waktu mungkin akan ada perubahan dalam regulasi maupun metode pengujian masa simpan. Namun, kami percaya bahwa pondasi teori dan konsep dasar yang disusun di sini akan tetap relevan dan menjadi rujukan penting dalam pengembangan metode pengujian masa simpan yang lebih efektif dan efisien di masa depan.

Untuk menghadirkan pengalaman membaca yang lebih menyenangkan dan tidak monoton, buku ini disusun dengan dukungan berbagai ilustrasi visual dari Canva (Pro) dan diperkuat dengan pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan seperti Bing Image Creator (free) dan Artistly (Elite). Dalam proses penulisan dan penyuntingan, kami juga menggunakan bantuan dari beberapa aplikasi seperti Grammarly (Pro), Consensus (Pro), dan ChatGPT (Plus) untuk meningkatkan akurasi, keterbacaan, dan kejelasan isi.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan manfaat nyata bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang pengujian masa simpan pangan.

Jakarta, Agustus 2025
Tim Penulis

Ucapan Terima kasih

Kami sampaikan ucapan terimakasih untuk dukungan material dan non material dari Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Bakrie.

Kami juga menyampaikan ucapan temakasih kepada para relawan Hero for Zero, Ibu-Ibu PKK RW 02 Kelurahan Pancoran,

Seluruh keluarga penulis dan pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu untuk semua dukungan yang diberikan.

Daftar Isi

KONSEP MASA SIMPAN PANGAN

PENTINGNYA INFORMASI MASA SIMPAN 4

DEFINISI MASA SIMPAN 18

REGULASI TERKAIT MASA SIMPAN 23

PERUBAHAN MUTU PANGAN

KONSEP MUTU PANGAN 34

REAKSI - REAKSI KERUSAKAN PANGAN 42

KINETIKA REAKSI 56

METODE PENGUJIAN MASA SIMPAN

BERBAGAI METODE PENGUJIAN 68

PENENTUAN PARAMETER PENGUJIAN 80

PERTIMBANGAN PEMILIHAN METODE 103

PRAKTIK PENGUJIAN

PENDEKATAN PERSAMAAN ARRHENIUS 114

PENDEKATAN KADAR AIR KRITIS 141

EVALUASI SENSORI 156

Konsep Masa Simpan Pangan

"Memahami masa simpan pangan bukan hanya soal tanggal,
tapi tentang menjaga mutu, menghindari pemborosan,
dan memastikan keamanan apa yang masuk ke badan."

Bayangkan di malam hari, seorang ibu baru saja pulang setelah seharian bekerja dan telah menyempatkan diri mampir ke pasar membeli beberapa produk makanan untuk dimasak sebagai hidangan makan malam untuk keluarganya. Ia senang karena berhasil menemukan sosis dalam kemasan dengan harga diskon di salah satu rak toko. Potongan harga itu terasa seperti berkah kecil setelah hari yang melelahkan. Dengan antusias dan penuh harap, ia merencanakan untuk memasak sosis itu bersama sayuran segar sebagai sajian hangat dan bergizi untuk makan malam keluarganya.

Namun, ketika sampai rumah dan membuka kemasan sosis tersebut, aroma asam yang menyengat langsung menyebar. Raut wajah ibu itu berubah bingung, apa yang salah? Setelah dicek lebih teliti, barulah ia sadar bahwa kemasan sosis itu tidak mencantumkan tanggal kedaluwarsa. Ia merasa tertipu dan kecewa, apalagi uang yang digunakan untuk membeli sosis itu adalah hasil kerja kerasnya selama seharian. Tak ada pilihan lain, sosis itu akhirnya harus dibuang ke tempat sampah. Sang ibu merasa dirugikan, tidak hanya secara finansial tetapi juga secara emosional, karena harapannya untuk menyajikan makanan lezat bagi keluarga harus pupus begitu saja.

Dicobanya kembali melihat isi kulkas-nya, apakah ada bahan makanan lain yang bisa dimasak untuk dijadikan lauk malam itu. Hatinya senang melihat masih ada setengah kemasan nugget tergeletak di dalam kulkas. Diambillah nugget tersebut, ketika dibuka ternyata nugget itu pun sudah berbau asam. Ia baru teringat, beberapa hari lalu usai menggoreng separuh isi kemasan, ia lupa menutup rapat dan meletakkannya di *freezer*. Karena terburu-buru, sisanya hanya digeletakkan begitu saja di tengah kulkas. Bagian itu ternyata tidak cukup dingin untuk menjaga kesegaran nugget. Ia menyesal telah mengabaikan petunjuk penyimpanan di kemasan. Dua makanan gagal tersaji malam itu. Perasaan bersalah menyelimutinya, putri kecilnya sudah menunggu dengan perut lapar.

Akhirnya malam itu ia harus kembali keluar untuk membeli beberapa butir telur di warung tetangga. Karena sudah cukup malam dan keluarganya juga sudah lapar, dia tidak sempat memilah-milah telur yang ia beli satu per satu dengan cermat. Sesampainya di rumah, dia dapati sebagian telur ternyata sudah tidak begitu bagus mutunya. Bagian kuning telur tidak lagi cembung dan berada di tengah, putih telurnya pun juga menjadi lebih encer, namun masih belum berbau. Ia mulai sadar bahwa menjaga mutu pangan bukan sekadar soal memilih produk yang tepat, tapi juga bagaimana ia memperlakukannya setelah sampai di rumah.

Kejadian seperti ini bukan hal yang langka. Masih banyak kasus serupa, di mana banyak konsumen merasa dirugikan akibat tidak adanya informasi masa simpan pada produk pangan. Ketidakpedulian produsen dalam mencantumkan tanggal kedaluwarsa atau informasi masa simpan pada kemasan tidak hanya berisiko pada keamanan pangan tetapi juga menyebabkan pemborosan dan peningkatan sampah pangan. Ironisnya, sebagian konsumen pun masih menganggap remeh informasi masa simpan, atau tidak tahu cara menafsirkannya. Bahkan tak jarang konsumen membeli produk yang sudah tidak layak konsumsi karena tergoda harga murah atau promo, tanpa mengecek label dengan teliti. Ketidaktahuan ini diperparah oleh minimnya edukasi publik tentang pentingnya literasi pangan.

Malam itu akhirnya sang ibu menyajikan makan malam telur dadar dan tumis sayur untuk keluarganya dengan perasaan agak menyesal karena tidak bisa menyajikan makanan dengan mutu terbaik. Sejak peristiwa malam itu, dia merasa perlu lebih peduli terhadap pilihan pangan yang ia beli dan bagaimana ia juga harus mampu menyimpan pangan yang ia miliki dengan benar. Edukasi sederhana, seperti cara membaca label atau pentingnya menyimpan pangan pada suhu yang tepat, bisa menjadi langkah awal untuk mencegah insiden serupa terulang. Ia pun mulai mencari informasi dari internet, membaca label dengan lebih saksama, bahkan bertanya kepada penjual tentang kondisi penyimpanan produk sebelum membeli.

Kasus di atas hanyalah satu dari sekian banyak kejadian nyata yang bisa menimpa siapa saja. Mengapa hal ini bisa terjadi? Apakah produsen tidak diwajibkan untuk mencantumkan informasi masa simpan? Apakah retailer dan konsumen tidak mendapatkan edukasi yang cukup tentang bagaimana memilih dan menyimpan produk pangan dengan tepat? Pertanyaan-pertanyaan tersebut menggarisbawahi satu fakta penting bahwa **memahami masa simpan pangan adalah hal yang krusial bagi produsen, retailer maupun konsumen.**

Label masa simpan bukan sekadar tulisan kecil pada kemasan, tetapi bentuk tanggung jawab produsen dan hak konsumen. Informasi ini penting agar kita tahu kapan suatu produk masih layak dikonsumsi dan kapan harus dihindari. Sayangnya, masih banyak pihak yang belum memahami pentingnya hal ini, atau bahkan sengaja mengabaikannya demi keuntungan. Padahal, literasi masa simpan bukan hanya soal menghindari kerugian materi, tetapi bagian dari upaya membangun sistem pangan yang lebih adil, aman, dan berkelanjutan. Dengan memahami dan menerapkan pengetahuan ini, kita tidak hanya melindungi diri dan keluarga, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi food waste yang menjadi tantangan besar di berbagai negara, termasuk Indonesia

Pentingnya Informasi Masa Simpan

Informasi masa simpan pada label pangan memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin keamanan, mutu, dan keandalan produk sepanjang rantai pasok, mulai dari produsen hingga konsumen akhir. Penetapan masa simpan yang akurat tidak hanya melindungi konsumen dari risiko penyakit akibat konsumsi produk yang sudah tidak layak, tetapi juga membantu produsen, distributor, dan retailer dalam mengelola stok, mengoptimalkan distribusi, serta meminimalkan kerugian ekonomi akibat produk kedaluwarsa atau limbah pangan. Masa simpan yang jelas menjadi panduan penting bagi konsumen dalam mengambil keputusan saat berbelanja, memastikan bahwa produk yang dibeli masih dalam kondisi optimal untuk dikonsumsi. Ketika informasi ini tidak tersedia atau tidak akurat, risiko kesalahan konsumsi akan meningkat, baik karena produk sudah rusak namun masih dikonsumsi, maupun karena produk masih layak namun dibuang secara prematur.

Dalam skala yang lebih luas, informasi masa simpan yang dapat dipercaya juga mencerminkan transparansi dan integritas produsen dalam menjalankan praktik bisnis yang etis dan bertanggung jawab. Selain itu, label masa simpan yang disampaikan dengan format yang mudah dipahami turut mendukung edukasi konsumen mengenai penanganan dan penyimpanan makanan yang benar. Dengan demikian, label masa simpan bukan sekadar informasi teknis, melainkan bagian penting dari upaya bersama dalam menjaga kesehatan masyarakat, memperkuat kepercayaan pasar, dan berkontribusi pada pengurangan pemborosan pangan secara global.

Pentingnya Informasi Masa Simpan Bagi Produsen

1. Menjamin Keamanan dan Mutu Produk

Penetapan masa simpan yang akurat adalah fondasi penting dalam menjamin keamanan dan mutu produk pangan. Masa simpan menunjukkan batas waktu di mana produk dapat dikonsumsi secara aman tanpa mengalami penurunan mutu yang signifikan. Untuk memastikan hal ini, produsen perlu melakukan serangkaian uji stabilitas mencakup parameter mikrobiologis, kimia, fisik, dan sensorik, dengan mempertimbangkan kondisi penyimpanan dan distribusi. Produsen juga bertanggung jawab memilih bahan baku bermutu dari pemasok yang andal, menerapkan proses pengolahan dan pengemasan yang higienis, serta mencantumkan masa simpan secara jelas di label kemasan, disertai instruksi penyimpanan yang tepat. Langkah-langkah ini menjadi bagian integral dari praktik produksi yang aman dan profesional.

2. Kepatuhan Regulasi dan Perlindungan Hukum

Di banyak literatur menyebutkan bahwa masa simpan wajib dicantumkan secara jelas pada label pangan sebagai bentuk perlindungan konsumen. Ketidakakuratan informasi masa simpan dapat berujung pada penarikan produk dari pasar, sanksi hukum, hingga kerugian reputasi perusahaan. Oleh karena itu, kejelasan label tidak hanya memenuhi ketentuan hukum, tetapi juga memperkuat posisi produsen dalam menghadapi potensi klaim atau masalah keamanan produk di pasar.

3. Efisiensi Produksi dan Inovasi Teknologi

Informasi masa simpan yang akurat memungkinkan produsen merencanakan produksi dan distribusi secara lebih efisien. Dengan mengetahui durasi penyimpanan yang aman, produsen dapat menghindari akumulasi stok, mengurangi pemborosan, dan mengoptimalkan perputaran barang. Selain itu, upaya untuk memperpanjang masa simpan secara alami mendorong inovasi di bidang teknologi pengawetan, pengemasan aktif, dan sistem monitoring mutu produk. Inovasi ini tidak hanya memperpanjang umur jual produk, tetapi juga membuka peluang pasar baru.

4. Koordinasi dalam Rantai Pasok

Masa simpan yang realistis dan transparan juga memfasilitasi koordinasi yang lebih baik dalam rantai pasok. Distributor dan retailer sangat bergantung pada informasi ini untuk mengatur rotasi stok dan memastikan produk sampai ke konsumen dalam kondisi terbaik. Masa simpan menjadi acuan penting dalam pengambilan keputusan logistik, termasuk pengaturan jadwal pengiriman dan penempatan produk di rak. Dengan demikian, masa simpan berfungsi sebagai jembatan kepercayaan antar pelaku dalam sistem distribusi pangan.

5. Meneguhkan Komitmen terhadap Keberlanjutan dan Kepercayaan Konsumen

Secara keseluruhan, masa simpan yang ditetapkan secara akurat dan dikomunikasikan dengan baik merupakan cerminan dari komitmen produsen terhadap keamanan pangan, efisiensi sistem, dan keberlanjutan. Informasi ini membantu konsumen mengambil keputusan yang tepat, mengurangi pemborosan makanan, dan meningkatkan kepercayaan terhadap produk. Dalam konteks global, masa simpan yang dikelola secara profesional juga menjadi kontribusi nyata produsen dalam membangun sistem pangan yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

Pentingnya Informasi Masa Simpan Bagi Distributor

Distributor memegang peran krusial sebagai penghubung antara produsen dan retailer. Dalam sistem rantai pasok pangan, mereka bertanggung jawab memastikan bahwa produk sampai ke tangan pengecer dalam kondisi yang tetap layak, aman, dan sesuai standar mutu.

1. Manajemen Stok dan Pengurangan Limbah

Informasi masa simpan memungkinkan distributor untuk mengelola persediaan secara efisien dan menghindari akumulasi produk yang mendekati atau telah melewati tanggal kedaluwarsa. Dengan menerapkan prinsip *first expired, first out* (FEFO), distributor dapat mengatur rotasi produk secara optimal, sehingga risiko limbah pangan akibat produk basi atau rusak dapat diminimalkan. Produk dengan masa simpan yang cukup panjang juga memungkinkan distributor merancang sistem logistik yang lebih fleksibel, termasuk pengurangan frekuensi pengiriman dan efisiensi penggunaan ruang penyimpanan. Hal ini dapat berdampak langsung pada penghematan biaya operasional dan logistik.

2. Pengambilan Keputusan dan Perencanaan Distribusi

Masa simpan merupakan salah satu parameter utama dalam perencanaan distribusi. Distributor perlu memastikan bahwa produk yang dikirim ke retailer masih memiliki sisa masa simpan yang cukup untuk dijual dan dikonsumsi sebelum kedaluwarsa. Dalam praktiknya, konsep *Minimum Life on Receipt* (MLOR) digunakan sebagai batas minimal masa simpan saat produk diterima oleh retailer. Pengaturan MLOR yang fleksibel namun tetap terkontrol memungkinkan distributor menyesuaikan penyaluran stok dengan mempertimbangkan umur produk yang tersisa. Strategi ini dapat mengurangi limbah di tingkat produsen tanpa mengorbankan kesegaran dan mutu produk di tingkat pengecer.

3. Menjaga Mutu Produk melalui Pengendalian Rantai Dingin

Distributor juga memiliki tanggung jawab untuk menjaga mutu produk selama proses pengangkutan dan penyimpanan. Untuk produk pangan yang sensitif terhadap suhu, seperti daging, susu, dan makanan beku, pengaturan suhu yang tepat sangat penting. Oleh karena itu, penggunaan gudang berpendingin dan kendaraan logistik dengan sistem pengatur suhu menjadi prasyarat utama agar masa simpan produk tidak terpengaruh oleh kondisi transportasi yang tidak sesuai. Ketidakmampuan menjaga suhu yang stabil dapat mempercepat kerusakan produk meskipun secara teknis masih dalam masa simpan, sehingga menurunkan nilai jual dan membahayakan keselamatan konsumen.

4. Pelacakan *Batch* dan Respon terhadap Risiko Kedaluwarsa

Masa simpan juga menjadi acuan penting dalam sistem pelacakan produk. Distributor perlu memiliki sistem pelacakan *batch* yang akurat untuk memantau usia produk dan menentukan kapan suatu *batch* harus diprioritaskan untuk didistribusikan atau bahkan ditarik jika tidak lagi layak jual. Pelacakan yang efektif akan memudahkan tindakan cepat terhadap produk yang mendekati kedaluwarsa, sehingga dapat dilakukan redistribusi ke pasar yang lebih cepat *turnover*-nya, atau dilakukan promosi khusus untuk mempercepat penjualan. Sistem ini juga menjadi sangat penting dalam kasus penarikan produk (*product recall*) yang berkaitan dengan masalah keamanan pangan.

5. Membangun Transparansi dan Kepercayaan Mitra Bisnis

Informasi masa simpan yang disampaikan secara jelas dan akurat membentuk dasar komunikasi yang sehat antar pelaku dalam rantai pasok. Distributor yang konsisten menjaga mutu produk dan mampu menyampaikan informasi masa simpan dengan transparan akan memperoleh reputasi yang baik di mata retailer dan produsen. Kepercayaan ini penting untuk membangun kolaborasi jangka panjang dan mempermudah koordinasi logistik, terutama ketika menghadapi tantangan seperti fluktuasi permintaan pasar, keterlambatan pengiriman, atau gangguan rantai pasok.

6. Adaptasi terhadap Ragam Produk dan Dinamika Pasar

Masing-masing produk pangan memiliki karakteristik masa simpan yang berbeda, tergantung pada jenis bahan, metode pengawetan, dan jenis kemasan. Distributor harus mampu menyesuaikan strategi penyimpanan, rotasi, dan distribusi berdasarkan kebutuhan spesifik setiap produk. Di samping itu, permintaan pasar yang dinamis menuntut distributor untuk bersikap adaptif. Mereka harus cepat merespon perubahan tren konsumen, musim, atau promosi dari produsen yang bisa berdampak pada prioritas distribusi. Dengan memahami masa simpan produk secara mendalam, distributor dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam menghadapi dinamika pasar.

Pentingnya Informasi Masa Simpan Bagi Retailer

Salah satu aspek penting yang menjadi perhatian utama dalam operasional ritel adalah informasi masa simpan yang jelas dan akurat. Masa simpan tidak hanya menentukan mutu produk, tetapi juga memengaruhi keputusan bisnis, efisiensi operasional, dan citra toko di mata konsumen.

1. Optimasi Penjualan dan Pengurangan *Food Waste*

Masa simpan yang cukup panjang memberikan peluang lebih besar bagi retailer untuk memaksimalkan penjualan. Produk yang memiliki sisa masa simpan lebih panjang cenderung lebih diminati konsumen dan memberi waktu lebih fleksibel bagi retailer untuk mengelola stok. Di sisi lain, produk yang mendekati masa kedaluwarsa berisiko menimbulkan *food waste* jika tidak segera ditangani. Untuk mengatasi hal ini, retailer dapat menerapkan strategi seperti diskon khusus produk mendekati *expired* atau pendekatan *dynamic shelf life* (DSL), di mana sistem secara dinamis menyesuaikan harga dan penempatan berdasarkan sisa masa simpan.

2. Efisiensi Pengelolaan Persediaan dan *Replenishment*

Informasi masa simpan sangat krusial dalam pengelolaan stok. Retailer harus memastikan bahwa produk yang masuk lebih dulu dijual lebih dulu dengan menerapkan sistem *first in*, *first out* (FIFO) atau *first expired*, *first out* (FEFO) untuk produk yang sangat pendek masa simpannya. Selain itu, retailer dapat menggunakan data masa simpan untuk menentukan waktu pemesanan ulang (*replenishment*) secara lebih tepat. Model optimasi berbasis masa simpan memungkinkan retailer menyesuaikan volume pesanan dan jadwal pengiriman untuk meminimalkan kelebihan stok dan menghindari kekosongan barang. Hal ini mendukung efisiensi logistik dan meningkatkan pelayanan kepada konsumen.

3. Peningkatan Kepuasan dan Kepercayaan Konsumen

Konsumen semakin sadar akan pentingnya masa simpan dalam menunjukan tingkat kesegaran dan mutu produk. Banyak konsumen yang secara aktif memilih produk dengan masa simpan lebih panjang sebagai preferensi utama mereka. Retailer yang mampu menyediakan produk dengan masa simpan jelas dan layak konsumsi dalam waktu lama akan memperoleh tingkat kepercayaan yang lebih tinggi. Kepercayaan ini dapat membentuk loyalitas pelanggan, meningkatkan *repeat purchase*, serta memperkuat citra toko sebagai penyedia pangan yang aman dan dapat diandalkan. Dalam konteks ini, masa simpan bukan hanya aspek teknis, tetapi juga menjadi bagian dari kualitas layanan.

4. Penyesuaian Strategi Berdasarkan Karakteristik Produk

Setiap kategori produk memiliki karakteristik masa simpan yang berbeda, yang menuntut pendekatan manajemen stok dan penjualan yang berbeda pula. Produk dengan masa simpan pendek seperti susu segar atau makanan siap saji memerlukan rotasi cepat dan promosi aktif, agar tidak menumpuk di rak dan berisiko menjadi limbah. Sebaliknya, produk dengan masa simpan panjang seperti makanan kaleng atau produk kering memberikan fleksibilitas lebih besar dalam pengelolaan stok dan penentuan harga jual. Retailer harus mampu menyesuaikan strategi bisnisnya berdasarkan profil produk ini, termasuk dalam hal penempatan di rak, waktu promosi, dan sistem peringatan otomatis untuk produk yang mendekati batas simpan.

5. Langkah Praktis Retailer dalam Menjaga Mutu Produk

Agar produk pangan tetap aman dan bermutu hingga sampai ke tangan konsumen, retailer perlu menerapkan beberapa langkah penting, antara lain:

- **Rotasi Stok Berkala:** Produk dengan masa simpan lebih pendek atau mendekati kedaluwarsa harus diprioritaskan untuk dijual lebih dulu.
- **Transparansi Informasi Label:** Retailer wajib memastikan bahwa label masa simpan selalu terlihat jelas di setiap produk yang dipajang. Produk dengan label rusak atau tidak terbaca sebaiknya segera diganti.
- **Penyimpanan sesuai petunjuk:** Produk yang membutuhkan suhu penyimpanan khusus harus ditempatkan di rak pendingin atau lemari beku yang sesuai dan rutin dikalibrasi.
- **Menjaga kebersihan gudang dan area penjualan:** Lingkungan penyimpanan dan penjualan yang bersih akan menghindarkan produk dari kerusakan akibat serangga, debu, atau hewan pengerat, serta menjaga integritas kemasan.

Retailer merupakan benteng terakhir sebelum produk pangan sampai ke tangan konsumen. Dengan memahami dan mengelola informasi masa simpan secara tepat, retailer tidak hanya mengoptimalkan penjualan dan mengurangi limbah, tetapi juga menjaga kualitas layanan, membangun kepercayaan, dan memastikan pangan yang aman sampai ke meja makan masyarakat.

Dalam sistem pangan yang semakin kompleks, peran retailer yang bertanggung jawab menjadi kunci terciptanya rantai pasok yang efisien dan berkelanjutan.

Pentingnya Informasi Masa Simpan Bagi Konsumen

Dalam sistem pangan modern, konsumen adalah titik akhir sekaligus aktor penting yang menentukan keberhasilan upaya menjaga keamanan dan mutu pangan. Salah satu informasi krusial yang menjadi perhatian utama konsumen adalah masa simpan yang tertera pada label produk. Masa simpan tidak hanya membantu konsumen memilih produk yang aman dikonsumsi, tetapi juga menjadi pedoman dalam menyimpan dan mengelola makanan di rumah.

1. Menjamin Keamanan dan Mutu Pangan Untuk Konsumsi

Masa simpan yang tertera pada label berfungsi sebagai indikator utama bagi konsumen dalam menilai apakah suatu produk masih layak dikonsumsi atau tidak. Informasi ini memberikan kepastian bahwa produk masih aman dari bahaya mikrobiologis dan tetap memiliki mutu yang sesuai, seperti tekstur, aroma, dan rasa yang tidak berubah. Produk yang dikonsumsi melewati masa simpan dapat menyebabkan gangguan kesehatan, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan ibu hamil. Oleh karena itu, masa simpan menjadi filter pertama dalam keputusan konsumsi yang aman dan bermutu.

2. Membantu Pengambilan Keputusan saat Berbelanja

Bagi sebagian besar konsumen, masa simpan adalah salah satu informasi terpenting yang mereka cari ketika memilih produk di toko. Studi menunjukkan bahwa konsumen lebih mempertimbangkan panjang masa simpan dibandingkan atribut lain seperti metode pengawetan atau nilai gizi, terutama pada produk segar dan olahan susu. Dengan memilih produk yang memiliki masa simpan lebih panjang, konsumen merasa lebih tenang karena memiliki waktu yang cukup lama untuk menyimpan dan mengonsumsinya, apalagi jika produk tersebut dibeli untuk keperluan stok.

3. Mengurangi Pemborosan Pangan di Rumah

Pemborosan pangan rumah tangga seringkali terjadi bukan karena konsumsi berlebihan, melainkan karena kesalahan dalam pengelolaan stok pangan, termasuk tidak memperhatikan masa simpan. Informasi yang jelas mengenai tanggal kedaluwarsa atau “baik digunakan sebelum” membantu konsumen merencanakan kapan suatu produk sebaiknya dikonsumsi. Teknologi seperti *smart labels* atau *dynamic shelf life* kini dikembangkan untuk memberikan informasi yang lebih akurat dan *real-time*, yang membantu konsumen memantau kondisi produk dan merencanakan konsumsi dengan lebih baik. Dengan demikian, masa simpan juga berperan dalam mendukung gaya hidup yang hemat dan berkelanjutan.

4. Memberikan Perlindungan Hukum bagi Konsumen

Informasi masa simpan pada label bukan hanya untuk kepentingan teknis, tetapi juga memiliki fungsi legal dalam perlindungan konsumen. Bila seseorang mengalami gangguan kesehatan akibat mengonsumsi produk sebelum masa simpannya berakhir, maka produsen atau retailer dapat dimintai pertanggungjawaban. Sebaliknya, jika produk dikonsumsi setelah melewati masa simpan, maka risiko menjadi tanggung jawab konsumen. Oleh karena itu, label masa simpan menjadi bukti penting dalam konteks perlindungan hak konsumen.

5. Mendorong Edukasi dan Perubahan Perilaku Konsumen

Sampai saat ini, masih banyak konsumen yang belum memahami perbedaan istilah seperti "*best before*" dan "*use by*", yang memiliki implikasi berbeda terhadap keamanan dan mutu produk pangan. Keterangan "*best before*" menunjukkan batas waktu di mana mutu optimal produk terjamin, namun produk bisa saja masih aman dikonsumsi sesudahnya. Sementara "*use by*" menunjukkan batas waktu aman konsumsi secara mikrobiologis, dan setelahnya produk tidak disarankan untuk dikonsumsi. Edukasi mengenai makna istilah ini penting untuk menghindari pemborosan pangan akibat kesalahpahaman dan untuk meningkatkan kesadaran konsumen dalam menjaga keamanan konsumsi sehari-hari.

6. Tanggung Jawab Konsumen dalam Menjaga Keamanan Pangan

Selain hak untuk memperoleh informasi yang jelas, konsumen juga memiliki tanggung jawab dalam menjaga keamanan pangan di rumah. Beberapa langkah sederhana yang dapat dilakukan antara lain:

- Memeriksa tanggal kedaluwarsa saat berbelanja, dan memilih produk yang masih dalam masa simpan layak konsumsi.
- Menyimpan pangan sesuai petunjuk pada label, seperti menyimpan produk beku di dalam freezer atau produk susu di dalam kulkas.
- Mengelola stok secara bijak, dengan memprioritaskan penggunaan produk yang lebih dekat ke tanggal kedaluwarsa agar tidak terbuang sia-sia.

Sebenarnya konsumen bisa menggunakan indra sensori mereka untuk mengetahui apakah suatu produk masih layak dikonsumsi atau tidak. Pemahaman yang tepat tentang tanggal kedaluwarsa dapat meningkatkan kesadaran konsumen tentang kapan sebaiknya sebuah produk dibuang atau masih bisa digunakan. Hal ini dapat membantu mengurangi jumlah *food waste* dengan memastikan bahwa makanan hanya dibuang ketika benar-benar tidak aman atau tidak layak dikonsumsi lagi.

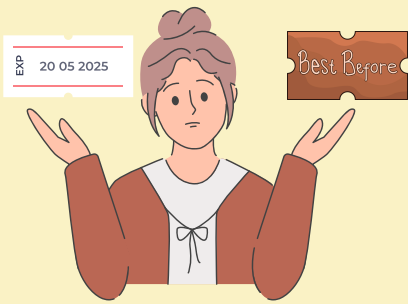
Kesalahanpahaman yang Umum Terjadi

Banyak konsumen seringkali salah paham mengenai konsep masa simpan pangan, terutama tentang arti tanggal kedaluwarsa yang tertera pada kemasan. Sebuah contoh nyata yang sering terjadi adalah ketika seseorang membeli produk pangan dengan tanggal kedaluwarsa yang masih lama, misalnya 17 Mei 2025. Setelah membuka kemasan dan mengonsumsi sebagian, sisa produk tersebut disimpan kembali. Namun, dalam beberapa hari, sisa pangan itu sudah rusak atau berjamur, meskipun tanggal kedaluwarsanya belum tiba.

Ketidaktahuan akan hal ini menimbulkan pertanyaan, "**Mengapa makanan bisa rusak sebelum tanggal kedaluwarsa?**" Padahal, banyak yang beranggapan bahwa selama tanggal kedaluwarsa belum lewat, makanan pasti masih aman dan layak konsumsi. Adapun pemahaman yang tepat adalah **tanggal kedaluwarsa hanya berlaku untuk produk yang kemasannya masih tersegel dan ketika penyimpanan dilakukan sesuai petunjuk yang tertera pada kemasan.**

Begitu kemasan dibuka, makanan tersebut akan lebih rentan terpapar udara, kelembapan, atau mikroorganisme yang dapat mempercepat proses penurunan mutu. Selain itu, jika penyimpanan tidak mengikuti aturan, seperti menyimpan produk yang harusnya dalam suhu dingin di suhu ruang maka mutu pangan akan menurun lebih cepat, membuat tanggal kedaluwarsa menjadi tidak relevan lagi.

Selain itu, pernahkah Anda **merasa bingung saat melihat label pada produk pangan?** Di rak toko, berbagai produk pangan berjejer rapi dengan label yang berbeda: sebagian ada yang bertuliskan "***Best Before***", ada juga sebagian yang menggunakan istilah "***Expired Date***".



Tak sedikit konsumen yang menganggap semua label keterangan masa simpan, baik ***best before*** maupun ***expired date*** sama saja. Keterangan tersebut menunjukkan kapan makanan tidak lagi aman dikonsumsi. Namun, pemahaman yang keliru ini bisa membuat kita membuang makanan yang sebenarnya masih layak dikonsumsi. Oleh karena itu, penting bagi konsumen untuk memahami perbedaan kedua label ini agar tidak terjadi pemborosan makanan yang sebenarnya masih aman dimakan. Dengan begitu, kita bisa lebih bijak dalam mengelola bahan pangan maupun pangan olahan.

Mungkin kamu pernah mengalami hal ini?

Suatu hari, Budi membeli sebungkus roti tawar dengan label "*Best Before*: 10 Mei 2025". Ia menyimpannya di lemari dapur. Ketika tanggal tersebut telah lewat, Budi langsung membuang biskuit tersebut, mengira bahwa produk itu sudah basi dan tidak aman dikonsumsi. Di lain kesempatan, Sari membeli yogurt dengan label "*Expired Date*: 7 Juli 2025". Karena merasa masih punya banyak waktu, ia menunda memakannya. Namun, ketika yogurt tersebut sudah melewati tanggal yang tertera, Sari tetap mengonsumsinya, berpikir bahwa perbedaan satu atau dua hari tidak akan menjadi masalah. Beberapa saat setelah mengkonsumsinya, Sari mengalami sakit perut, diare dan muntah. Pada contoh kasus ini, baik Budi maupun Sari mengalami kebingungan yang sama dalam memahami konsep "***Best Before***" dan "***Expired Date***". Padahal, keduanya memiliki makna yang berbeda dan berdampak pada keamanan pangan yang dikonsumsi.

Beberapa pedagang yang tidak bertanggung jawab sering kali memanfaatkan ketidaktahuan konsumen dengan menjual produk yang sudah *expired* dengan harga diskon. Mereka berharap tetap meraup keuntungan daripada membuang produk tersebut. Praktik ini tidak hanya melanggar hukum, tetapi juga membahayakan kesehatan masyarakat. Berdasarkan peraturan keamanan pangan, menjual produk kedaluwarsa adalah pelanggaran berat karena produk pangan yang sudah melewati *expired date* seharusnya tidak lagi diperdagangkan akibat potensi bahaya penyakit yang mungkin ditimbulkan.

Idealnya, produsen, retailer, dan konsumen perlu lebih teliti dalam memperhatikan informasi masa simpan produk dengan rajin melakukan pengecekan. Jika ada pangan yang mendekati batas *expired date*, sebaiknya segera didonasikan kepada pihak yang membutuhkan. Sementara itu, produk yang sudah melewati *expired date* dapat diolah menjadi pakan ternak atau pupuk organik. Upaya ini membantu mengurangi pemborosan pangan serta dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah pangan.

Praktik bijak dalam mengelola produk pangan yang mendekati *expired date* juga sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs) nomor 12, yaitu memastikan pola produksi dan konsumsi yang bertanggung jawab. Dengan mengurangi pemborosan pangan dan memanfaatkan kembali produk yang masih layak, semua pihak berkontribusi pada pengelolaan sumber daya alam yang lebih berkelanjutan.

Pentingnya Pengujian Masa Simpan

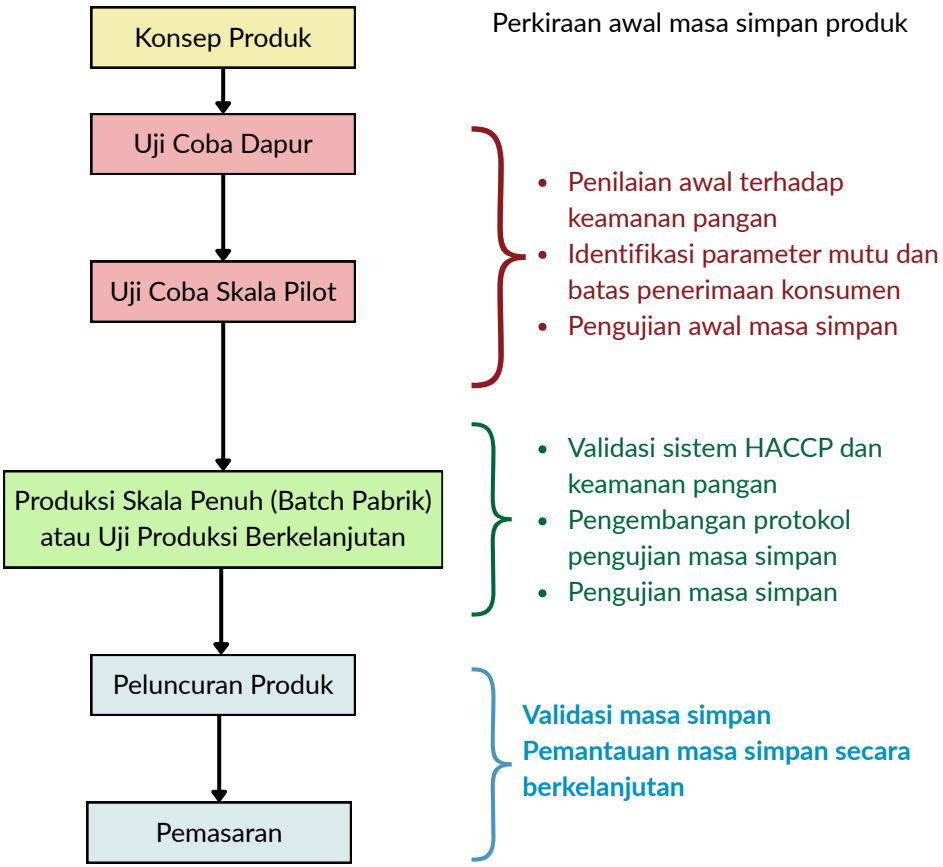
Kesalahpahaman yang umum terjadi adalah anggapan bahwa studi masa simpan sebaiknya dilakukan untuk memecahkan masalah, misalnya ketika suatu produk pangan menunjukkan penurunan mutu yang tajam secara tiba-tiba atau rusak mendadak yang kemungkinan karena masalah proses atau kondisi penyimpanan dan penanganan yang tidak tepat. Namun, hal ini tidak sepenuhnya benar. Studi masa simpan harus dilakukan idealnya ketika pangan sudah diproses, dikemas, dan disimpan dengan benar, siap untuk dibeli dan dikonsumsi.

Berikut adalah **situasi-situasi yang memerlukan studi masa simpan:**

- Pengembangan produk baru
- Perubahan formulasi atau kondisi pengolahan
- Perubahan bahan kemasan dan komposisi udara dalam kemasan
- Perubahan pemasok bahan/kemasan
- Perubahan kondisi penyimpanan (terutama suhu, kelembapan relatif dan intensitas paparan cahaya)
- Selama pengawasan masa simpan rutin yang sedang berlangsung

Gambar 1 menunjukan beberapa tahapan dasar dalam perancangan, pengembangan, dan peluncuran produk pangan baru serta langkah-langkah penentuan masa simpan yang terkait. Mulai dari konsep produk pertama hingga tahap awal pengembangannya, diperlukan gambaran kasar tentang masa simpan yang diharapkan untuk produk baru tersebut ketika dipasarkan. Formulasi, teknologi proses pengolahan, pengemasan, dan kondisi penyimpanan akan dipilih secara tepat dengan tujuan tersebut.

Setelah pengujian awal yang dilakukan di dapur laboratorium atau pabrik percontohan, dan penilaian keamanan awal pada produk prototipe, studi masa simpan perlu direncanakan. Identifikasi penyebab utama penurunan mutu produk pada kondisi penyimpanan yang direncanakan, juga dengan mempertimbangkan bahan kemasan yang akan digunakan, menjadi hal yang penting. Selanjutnya, penentu penurunan mutu juga harus dipilih. Pada tahap ini, uji stabilitas diperlukan, meskipun dilakukan dengan kondisi dipercepat, dapat dilakukan pada tahap awal untuk mengidentifikasi faktor penentu penurunan mutu pangan yang menjadi indikator kritis terbaik. Data uji stabilitas juga membantu memudahkan penentuan batas waktu yang tepat suatu produk dapat diterima konsumen.



Gambar 1. Strategi pengujian masa simpan pada berbagai tahap pengembangan produk baru.

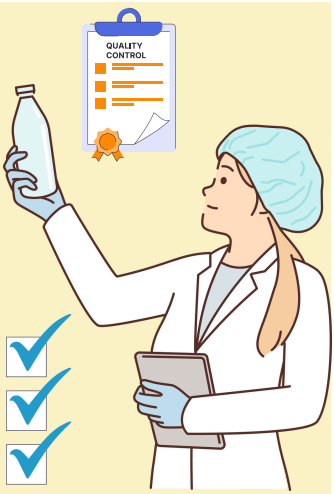
HACCP adalah singkatan dari *Hazard Analysis and Critical Control Point* (Analisis Bahaya dan Titik Kendali Kritis).

Sumber: Nicoli, M.C. (Ed.). (2012). Shelf Life Assessment of Food (1st ed.). CRC Press.

Studi pengujian masa simpan sebuah produk pangan idealnya dilakukan lebih lama dari perkiraan awal masa simpannya. Untuk beberapa jenis makanan, terutama pangan kering yang tahan lama atau produk beku, pengujian masa simpan bahkan bisa memakan waktu hingga satu tahun atau lebih. Sayangnya, durasi pengujian yang panjang ini sering kali tidak sejalan dengan kenyataan di lapangan. Dalam dunia industri, siklus pengembangan produk biasanya hanya memakan waktu sekitar enam bulan. Bahkan ketika dilakukan pengujian masa simpan secara dipercepat (*accelerated shelf life test*), waktunya tetap bisa lebih lama dari proses pengembangan produk itu sendiri. Karena itulah, dalam kondisi seperti ini, sangat penting untuk melakukan validasi tanggal kedaluwarsa produk secara cermat begitu produk resmi dipasarkan.

Setiap kali ada perubahan pada formula (resep), proses produksi, jenis kemasan, atau cara penyimpanan yang biasanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi atau mutu, pengujian masa simpan harus dilakukan kembali menggunakan metode atau protokol yang sudah ditentukan sebelumnya. Tak kalah penting, pemantauan rutin terhadap produk yang beredar di pasaran juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi penyimpanan produk tetap stabil. Bila ada penurunan mutu atau perubahan yang tak diinginkan selama penyimpanan, langkah korektif bisa segera diambil. Di sinilah pentingnya sistem manajemen keluhan pelanggan dan pengawasan mutu yang tanggap dan efisien. Sistem seperti ini bisa menjadi alarm dini yang memperingatkan produsen akan potensi masalah, termasuk soal ketahanan produk di rak toko para distributor dan retailer. **Data dari keluhan pelanggan maupun penarikan produk bisa menjadi sumber informasi berharga untuk mengevaluasi apakah masa simpan produk di laboratorium benar-benar mencerminkan kondisi nyata di pasaran.**

Meski uji masa simpan yang menyeluruh memang memerlukan biaya besar dan tenaga ahli, biayanya tetap jauh lebih kecil dibandingkan risiko kerugian akibat produk yang harus ditarik dari pasar. Lebih dari itu, reputasi perusahaan pun bisa ikut terdampak bila mutu produk yang beredar tidak sesuai harapan konsumen. Karena itu, penilaian masa simpan yang dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan biasanya menjadi bagian penting dalam sistem manajemen mutu perusahaan, dimulai sejak tahap awal pengembangan produk hingga pemantauan terhadap produk yang sudah beredar.



Mengapa kita perlu memahami masa simpan?

Mengapa kita perlu memahami masa simpan? Jawabannya sederhana, agar kita tidak membuang makanan secara percuma. Tidak hanya soal ekonomi rumah tangga, tetapi hal ini juga berdampak besar pada lingkungan. Sampah pangan menyumbang emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim. Jika kita lebih memahami bagaimana cara membaca dan menerapkan informasi masa simpan, banyak produk pangan yang seharusnya masih bisa dimanfaatkan, tidak akan terbuang sia-sia. ***Food waste* tidak hanya berarti pemborosan pangan tetapi juga energi, air, dan sumber daya lain yang digunakan dalam proses produksinya.**

Oleh karena itu, buku ini hadir sebagai panduan bersama, baik kita sebagai konsumen, retailer, distributor maupun produsen, untuk memahami konsep masa simpan pangan secara lebih mendalam. Dengan memahami berbagai faktor yang mempengaruhi masa simpan, metode pengujian dan edukasi tentang interpretasi label, kita dapat membuat keputusan yang lebih bijak dalam mengelola pangan.

Pada akhirnya, menjaga mutu pangan bukan hanya soal memastikan makanan tetap enak dan aman, tetapi juga tentang menghargai proses panjang dari produksi hingga sampai di meja makan kita. Dengan pemahaman yang lebih mendalam, kita bisa lebih bijak dalam memanfaatkan setiap potong makanan, mengurangi sampah pangan, dan secara tidak langsung ikut menjaga kelestarian kehidupan di bumi ini.

Setiap dari kita memiliki tanggung jawab yang sama dalam menjaga keberlanjutan pangan. **Ketika kita memiliki pemahaman yang baik mengenai masa simpan dan penerapannya, manfaatnya tidak hanya akan dirasakan oleh diri kita sendiri tetapi juga oleh lingkungan sekitar.** Tindakan sederhana, seperti memeriksa masa simpan sebelum membuang makanan, menyumbangkan produk yang mendekati kedaluwarsa, atau mengolahnya menjadi produk lain yang memiliki nilai guna, dapat memberikan dampak yang signifikan pada lingkungan. Ketika kesadaran ini tumbuh dalam masyarakat luas, kita dapat bersama-sama mengurangi limbah pangan secara kolektif. Melalui langkah sederhana namun tepat, kita dapat berkontribusi pada pengurangan limbah pangan dan mendukung terciptanya ekosistem yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Definisi Masa Simpan

Masa simpan (*shelf life*) merupakan konsep penting bagi seluruh rantai pelaku bisnis pangan. Meskipun informasi tersebut sangat penting dan bahkan untuk beberapa jenis produk pangan tertentu diwajibkan untuk ditampilkan pada label kemasan, pemahaman mengenai masa simpan ternyata cukup beragam. Perbedaan definisi ini muncul karena setiap lembaga atau organisasi mengartikannya berdasarkan perspektif dan konteks penggunaannya. Mulai dari standar internasional seperti Codex Alimentarius hingga badan pengawas lokal seperti BPOM Indonesia, masing-masing memiliki pandangan yang sedikit berbeda tentang apa yang dimaksud dengan masa simpan. Perbedaan ini mencerminkan beragamnya faktor yang dipertimbangkan, seperti aspek keamanan, mutu, stabilitas produk, hingga kondisi penyimpanan yang disarankan. Oleh karena itu, memahami definisi masa simpan dari berbagai sumber sangat penting untuk memastikan produk tetap aman dan bermutu selama masa konsumsinya.

Berbagai Definisi Masa Simpan?

- ***Codex Alimentarius (FAO/WHO):*** Masa simpan adalah periode waktu di mana produk pangan, ketika disimpan dalam kondisi yang direkomendasikan, tetap aman, mempertahankan sifat sensori, kimia, fisik, mikrobiologi, dan fungsionalnya sesuai dengan klaim yang dibuat.
- ***International Organization for Standardization (ISO):*** Masa simpan adalah durasi waktu di mana produk tetap memenuhi spesifikasi mutu dan keamanan sebagaimana ditetapkan oleh produsen ketika disimpan dalam kondisi tertentu.
- ***United States Food and Drug Administration (FDA):*** Masa simpan adalah waktu selama produk tetap stabil secara fisik, kimia, dan mikrobiologis serta aman dikonsumsi pada kondisi penyimpanan yang direkomendasikan.
- ***European Food Safety Authority (EFSA):*** Masa simpan merupakan periode di mana produk makanan tetap memenuhi kriteria mutu dan keamanan yang ditetapkan selama disimpan sesuai dengan instruksi.
- ***Institute of Food Technologists (IFT):*** Masa simpan adalah durasi waktu ketika produk pangan dapat tetap dikonsumsi dengan aman dan tetap mempertahankan sifat sensori, gizi, dan fungsionalitas sesuai dengan tujuan konsumsinya.
- ***Regulasi Uni Eropa (EU Regulation No 1169/2011):*** Masa simpan adalah periode di mana makanan mempertahankan mutu dan karakteristiknya yang dinyatakan pada label, asalkan disimpan sesuai petunjuk.

Konsep Masa Simpan yang digunakan di Indonesia?

Dalam Buku Pedoman Penetapan Masa Simpan Untuk Pangan Olahan Yang Diproduksi Oleh Usaha Mikro Dan Usaha Kecil (UMK)

Masa Simpan adalah periode mulai dari produksi sampai dengan konsumsi dimana produk masih aman dan layak dikonsumsi dari aspek sensori, nilai gizi, maupun fisik, selama produk disimpan pada kondisi penyimpanan normal sesuai dengan petunjuk penyimpanan dan kemasan tidak rusak.

Menurut BPOM

- **Keterangan kedaluwarsa** merupakan batas akhir suatu pangan olahan dijamin mutunya sepanjang penyimpanannya mengikuti petunjuk yang diberikan produsen.
- **Batas kedaluwarsa** adalah keterangan batas waktu obat, obat tradisional, suplemen makanan, dan pangan layak untuk dikonsumsi dalam bentuk tanggal, bulan, dan tahun, atau bulan dan tahun.

Apa saja aspek yang dipertimbangkan dalam mendefinisikan masa simpan?

Keamanan dan Kelayakan Konsumsi: Masa simpan sering didefinisikan sebagai periode waktu setelah produksi atau pengemasan di mana pangan tetap aman dan layak dikonsumsi jika disimpan sesuai ketentuan/saran penyimpanan.

Mutu Sensori, Kandungan Zat Gizi dan Sifat Fungsional: Masa simpan juga dapat diartikan sebagai waktu di mana produk mempertahankan karakteristik sensori (warna, rasa, aroma, tekstur, dll), kandungan zat gizi, dan sifat fungsional yang dijanjikan pada konsumen maupun parameter mutu yang ditetapkan oleh produsen.

Batas Penerimaan Konsumen: Masa simpan adalah waktu di mana produk masih diterima oleh konsumen dari segi warna, rasa, aroma, tekstur, penampilan, dan mutu secara keseluruhan.

Aspek Penjualan dan Penyimpanan: Ada definisi yang menekankan berapa lama produk dapat dijual di pasaran maupun disimpan oleh konsumen.

Primary Shelf Life (PSL) dan *Secondary Shelf Life (SSL)*

Dalam konteks manajemen mutu pangan, istilah *Primary Shelf Life* (PSL) dan *Secondary Shelf Life* (SSL) sering digunakan untuk menggambarkan masa simpan produk pada kondisi yang berbeda. Keduanya penting untuk memahami bagaimana mempertahankan mutu dan keamanan pangan dari produksi hingga konsumsi. Secara sederhana, PSL mengacu pada rentang waktu antara saat pangan dikemas hingga pangan dalam kemasan tidak lagi dapat diterima, sedangkan SSL merupakan rentang waktu antara saat kemasan dibuka hingga pangan yang tidak lagi terkemas menjadi tidak layak untuk dikonsumsi. Pada produk tertentu, karena perubahan yang terjadi setelah kemasan dibuka, SSL biasanya lebih pendek dibandingkan PSL, bahkan terkadang jauh lebih pendek.

Primary Shelf Life (PSL)

Primary Shelf Life (PSL) adalah periode waktu selama produk pangan atau minuman dapat disimpan dalam kondisi tertentu tanpa mengalami perubahan signifikan pada mutu, keamanan, atau integritasnya. Periode ini dihitung sejak tanggal produksi hingga tanggal kedaluwarsa, selama produk disimpan dalam kemasan asli dan belum dibuka.

Ciri-ciri PSL:

- Berlaku selama kemasan belum dibuka.
- Dipengaruhi oleh metode pengolahan, pengemasan, dan kondisi penyimpanan.
- Ditentukan berdasarkan uji stabilitas oleh sifat produk, proses produksi, jenis kemasan, dan kondisi penyimpanan.
- Biasanya ditandai dengan label "*Use By*" atau "*Best Before*" pada kemasan.

Contoh *Primary Shelf Life* pada Produk Pangan:

- Ikan beku dengan kondisi penyimpanan dalam suhu freezer (-18°C atau lebih rendah) memiliki *Primary Shelf Life* 6-8 bulan.
- Pizza beku dengan kondisi penyimpanan dalam Suhu freezer (-18°C atau lebih rendah), dalam kemasan asli tertutup rapat memiliki *Primary Shelf Life* 12-18 bulan.
- Biskuit kering dengan kondisi penyimpanan suhu ruang, dalam kaleng memiliki *Primary Shelf Life* 6-12 bulan.

Secondary Shelf Life (PSL)

Secondary Shelf Life (SSL) adalah masa simpan produk pangan setelah kemasan dibuka. Pada kondisi tersebut produk lebih rentan terhadap kontaminasi mikroba, perubahan kimia, dan kerusakan fisik.

Ciri-ciri SSL:

- Berlaku setelah produk dibuka atau dipindahkan ke wadah lain.
- Masa simpannya lebih pendek daripada PSL.
- Sangat bergantung pada cara penyimpanan setelah kemasan dibuka.
- Produsen biasanya menyarankan waktu konsumsi, seperti "habiskan dalam 3 hari setelah dibuka."

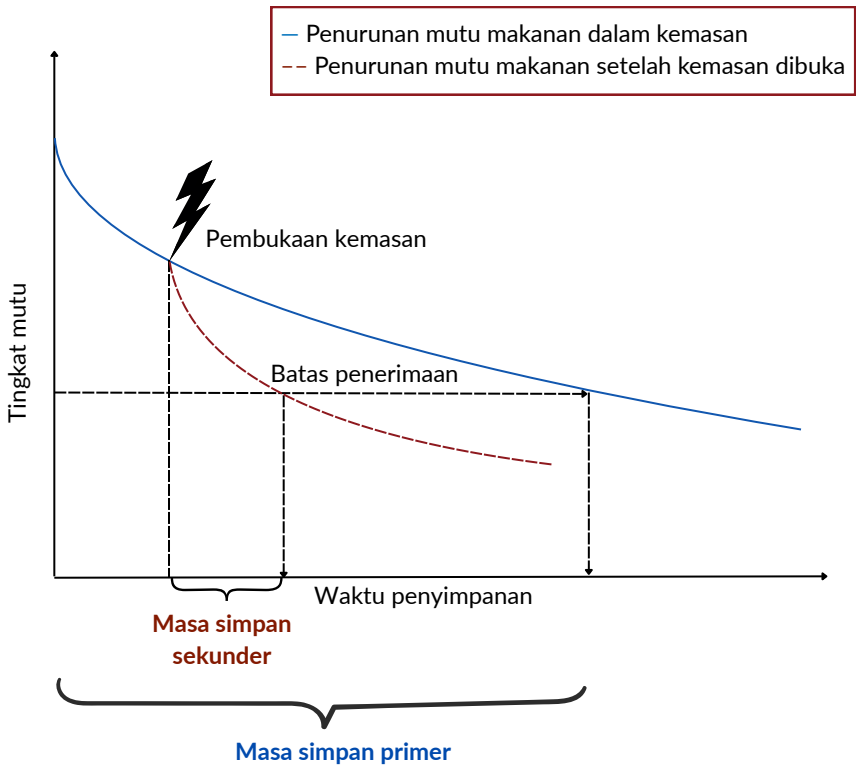
Faktor yang Mempengaruhi *Secondary Shelf Life*:

1. Jenis Produk, sebagai contoh produk kering (biskuit, kopi bubuk) dapat bertahan lebih lama jika disimpan dalam wadah kedap udara.
2. Kondisi Penyimpanan, meliputi:
    - **Suhu:** Penyimpanan pada suhu rendah (misalnya di kulkas) memperpanjang SSL.
    - **Kelembapan:** Kelembapan tinggi dapat mempercepat pertumbuhan jamur pada produk kering.
    - **Paparan Udara:** Produk yang disimpan dalam wadah kedap udara memiliki SSL lebih panjang.
3. Kemasan Asli dan Cara Penutupan:
    - Beberapa produk memiliki kemasan dengan mekanisme penutup yang dapat membantu menjaga mutu setelah dibuka.
    - Contohnya adalah botol dengan tutup rapat, kemasan ziplock, atau kaleng dengan penutup plastik.

Contoh *Secondary Shelf Life* pada Produk:

1. Susu UHT:
    - *Primary Shelf Life*: 6-12 bulan (belum dibuka).
    - *Secondary Shelf Life*: 3-5 hari setelah dibuka dan disimpan dalam kulkas.
2. Kopi Bubuk:
    - *Primary Shelf Life*: 1-2 tahun (belum dibuka).
    - *Secondary Shelf Life*: 2-4 minggu setelah dibuka jika disimpan dalam wadah kedap udara.
3. Kecap Botol:
    - *Primary Shelf Life*: 2-3 tahun (belum dibuka).
    - *Secondary Shelf Life*: 6 bulan setelah dibuka jika disimpan di tempat sejuk dan tertutup.

Kesalahan umum yang sering terjadi terkait *Secondary Shelf Life* (SSL) adalah produsen cenderung kurang memberikan perhatian pada masa simpan setelah kemasan dibuka, sehingga informasi SSL pada label produk sering tidak akurat atau bahkan diabaikan, padahal mutu produk bisa menurun drastis setelah terbuka. Di sisi lain, konsumen juga sering kali menganggap produk tetap aman dikonsumsi selama belum melewati tanggal kedaluwarsa tanpa memperhatikan bahwa SSL biasanya jauh lebih singkat dari masa simpan utama, sehingga mereka berisiko mengonsumsi produk yang sudah menurun mutunya atau bahkan tidak aman. Selain itu, baik produsen maupun konsumen sering tidak mempertimbangkan pengaruh kondisi penyimpanan setelah kemasan dibuka, seperti suhu dan kelembapan, yang sangat menentukan kecepatan kerusakan produk selama SSL. Adapun grafik yang menggambarkan penurunan waktu masa simpan setelah kemasan dibuka dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Penurunan mutu pangan terhadap waktu penyimpanan yang dipengaruhi oleh pembukaan kemasan serta nilai masa simpan primer dan sekunder yang relevan

Sumber: Nicoli, M.C. (Ed.). (2012). Shelf Life Assessment of Food (1st ed.). CRC Press.

Regulasi Terkait Masa Simpan

Di tingkat global, regulasi mengenai masa simpan pangan telah ditetapkan oleh berbagai lembaga internasional untuk memastikan keamanan pangan dan perlindungan konsumen. Salah satu standar utama adalah Codex Alimentarius, yang disusun oleh Food and Agriculture Organization (FAO) dan World Health Organization (WHO). Standar dan pedoman Codex Alimentarius mengenai pelabelan makanan diterbitkan agar dapat digunakan dan dipahami secara luas oleh pemerintah, otoritas pengatur, industri makanan dan pengecer, serta konsumen.

Di kawasan Uni Eropa, regulasi mengenai masa simpan tercantum dalam Regulation (EU) No 1169/2011 tentang penyediaan informasi pangan kepada konsumen. Peraturan ini mewajibkan pencantuman dua jenis tanggal pada label produk pangan, yaitu "***best before***", yang mengacu pada mutu produk, dan "***use by***", yang berkaitan langsung dengan keamanan produk. Informasi ini harus ditampilkan secara jelas pada kemasan agar konsumen dapat membuat keputusan yang tepat tentang penggunaan produk. Kewajiban untuk mencantumkan **tanggal masa simpan** atau **tanggal gunakan sebelum** hanya berlaku untuk pangan dalam kemasan. Selain itu, Pelaku Usaha Pangan juga harus memberikan petunjuk penggunaan dan penyimpanan yang sesuai.

Best Before

Tanggal ***"best before"*** atau "***best before end***" berkaitan dengan mutu pangan. Tanda tanggal ini harus dicantumkan pada produk pangan yang karakteristik mutu sensori-nya (seperti tekstur atau rasa) mungkin tidak sesuai lagi dengan harapan produsen setelah tanggal tersebut, namun masih aman untuk dikonsumsi.

Meski demikian, konsumen harus tetap memperhatikan tanda-tanda perubahan mutu yang ada pada pangan untuk memastikan pangan masih layak dikonsumsi. Contoh pangan yang memerlukan tanggal "***best before***" atau "***best before end***" antara lain: roti, makanan beku, herba kering, pasta kering, biskuit, dan keripik.

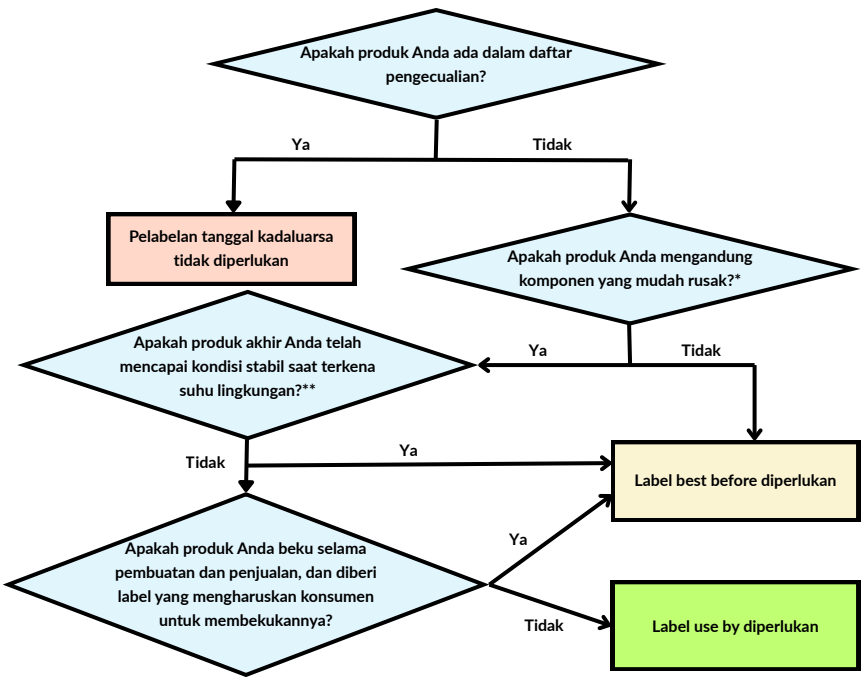
Use By

Tanggal ***"use by"*** berkaitan dengan keamanan pangan secara mikrobiologis. Tanda tanggal ini menunjukkan batas waktu setelah makanan dianggap tidak aman dikonsumsi. Biasanya, tanda ini diterapkan pada produk yang mudah rusak, memiliki aktivitas air (Aw) tinggi, dan keasaman netral atau rendah. Hal ini karena komposisi produk tersebut cenderung mendukung terjadinya pertumbuhan kontaminasi mikrobiologi dan dalam waktu singkat dapat menimbulkan risiko negatif bagi kesehatan manusia.

***USE BY* : Akhir masa simpan: Faktor Keamanan**

Tanggal "***use by***" diterapkan pada pangan yang akan menjadi tidak aman secara mikrobiologis segera setelah tanggal tersebut berlalu. Contoh pangan yang memerlukan tanggal "***use by***" antara lain: daging mentah segar dan ikan segar, daging matang yang telah diiris, ikan asap, susu, sandwich dalam kemasan, salad dalam kemasan, buah dan sayuran yang sudah diiris, serta saus.

Untuk memutuskan label mana yang dipilih, dapat menggunakan pertimbangan sesuai dengan diagram pada Gambar 3.



*Makanan yang mudah rusak biasanya memiliki tingkat kelembaban yang tinggi dan tingkat keasaman yang rendah, biasanya memerlukan pendinginan, dan cepat rusak.

**Biasanya melalui penggunaan panas dan/atau pengeringan untuk menghancurkan mikroba dan penyegelan dalam kemasan/wadah kedap udara.

Gambar 3. Diagaram keputusan pemilihan *use by* atau *best before*

Sumber: Food Standards Scotland. (2025). Shelf-life guidance : Guidance for food businesses for the setting of product shelf-life.

Kondisi Penyimpanan

Regulasi (Pasal 25 dari Regulation (EU) 1169/2011) mewajibkan adanya petunjuk penyimpanan jika diperlukan kondisi penyimpanan khusus setelah kemasan asli dibuka. Misalnya, "setelah dibuka, gunakan dalam 2 hari". Namun, aturan ini tidak menentukan secara spesifik kata-kata yang harus digunakan dalam petunjuk tersebut. Setiap Pelaku Usaha Pangan memiliki tanggung jawab untuk menentukan persyaratan penyimpanan aman setelah kemasan dibuka dan memastikan informasi tersebut tercantum dengan jelas pada label.

Produk seperti daging beku, produk daging beku dan olahannya, serta ikan beku yang tidak diproses harus diberi label dengan tanggal pembekuan atau tanggal pembekuan pertama. Tanggal tersebut harus ditulis dengan kata "**dibekukan pada**" diikuti oleh tanggal (format: hari, bulan, dan tahun). Pada kasus ini, tanda "***best before***" juga tetap diperlukan.

Kondisi Pengecualian

Sebagian besar produk pangan wajib mencantumkan tanggal '*use by*' atau '*best before*'/'*best before end*'. Regulation (EU) 1169/2011 mencantumkan produk pangan yang dibebaskan dari kewajiban menampilkan salah satu jenis tanggal tersebut, yaitu:

- Buah dan sayuran segar, termasuk kentang, yang belum dikupas, dipotong, atau diperlakukan secara serupa (pembebasan ini tidak berlaku untuk biji yang berkecambah dan produk serupa seperti kecambah kacang);
- Anggur, anggur liqueur, anggur bersoda, anggur aromatisasi, dan produk serupa yang diperoleh dari buah selain anggur, serta minuman yang termasuk dalam klasifikasi bea cukai CN kode 2206 00 yang diperoleh dari anggur;
- Minuman yang mengandung alkohol 10% atau lebih berdasarkan volume;
- Produk roti atau kue yang, mengingat sifat isinya, biasanya dikonsumsi dalam waktu 24 jam sejak pembuatan;
- Cuka;
- Garam dapur;
- Gula padat;
- Produk permen yang hampir seluruhnya terdiri dari gula berperisa dan/atau berwarna;
- Permen karet dan produk kunyah serupa.

Regulasi Terkait Masa Simpan di Indonesia

Peraturan mengenai masa simpan pangan telah diatur secara komprehensif untuk melindungi konsumen dari risiko pangan yang kedaluwarsa atau tidak layak konsumsi. Dasar hukum utama yang mengatur masa simpan pangan adalah:

1. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan : Ketentuan terkait informasi pencantuman informasi tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa pada label kemasan terdapat pada pasal 5 ayat 1 poin g.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 1999 tentang Label dan Iklan Pangan: Ketentuan terkait informasi pencantuman informasi tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa pada label kemasan terdapat pada pasal 3 ayat 2 poin e.

Kedua peraturan tersebut mewajibkan produsen untuk mencantumkan tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa pada label pangan olahan.

Untuk memastikan pelaksanaan regulasi tersebut, Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) sebagai lembaga pengawas pangan di Indonesia telah menerbitkan Peraturan BPOM Nomor 31 Tahun 2018 tentang Label Pangan Olahan, Ketentuan terkait informasi pencantuman informasi tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa pada label kemasan terdapat pada pasal 34.

Dalam peraturan tersebut, **masa simpan wajib dicantumkan dalam bentuk keterangan kedaluwarsa pada kemasan pangan olahan.** Keterangan ini bertujuan untuk menjamin keamanan dan mutu produk selama masa edar hingga dikonsumsi oleh masyarakat. BPOM juga mengatur bahwa produsen wajib melakukan uji masa simpan untuk memastikan produk tetap aman dikonsumsi hingga akhir masa kedaluwarsa. Uji ini dapat melibatkan analisis mikrobiologis, kimia, serta pengamatan terhadap perubahan fisik pada produk selama periode penyimpanan. Selain itu, BPOM mewajibkan pencantuman informasi tambahan jika produk memerlukan kondisi penyimpanan khusus, seperti suhu dingin atau penyimpanan dalam wadah tertutup rapat.

Dengan adanya regulasi baik di tingkat global maupun nasional, produsen pangan diharapkan dapat memberikan jaminan kepada konsumen mengenai keamanan dan mutu produk pangan sepanjang masa simpan yang tertera pada label. Melalui pemenuhan kewajiban ini, tidak hanya tercipta kepastian hukum bagi produsen, tetapi juga terwujud perlindungan konsumen dari risiko pangan yang kedaluwarsa atau tidak layak dikonsumsi.

Ketentuan Penulisan informasi Masa Simpan

IMPORTANT!

Pencantuman informasi masa simpan pada label kemasan didahului dengan tulisan **"Baik digunakan sebelum"** yang **ditempatkan pada bagian yang paling mudah dilihat dan dibaca, kemudian diikuti dengan penulisan tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa.**

Berikut ketentuan cara pencantuman keterangan masa simpan pada label pangan olahan dalam kemasan diatur dalam Perka BPOM Nomor 12 (2016):

Jika pangan olahan memiliki masa simpan kurang dari atau sama dengan 3 (tiga) bulan, keterangan kedaluwarsa yang dicantumkan meliputi tanggal, bulan dan tahun. Contoh dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Penulisan keterangan kadaluwarsa dengan masa simpan ≤ 3 (tiga) bulan

Jika pangan olahan memiliki masa simpan lebih dari 3 (tiga) bulan, keterangan kedaluwarsa yang dicantumkan meliputi:

- ✓ **tanggal, bulan dan tahun; atau**
- ✓ **bulan dan tahun.**

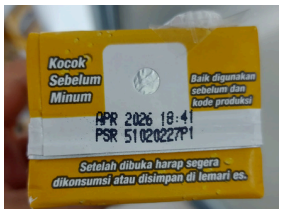
Contoh dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Penulisan keterangan kadaluwarsa dengan masa simpan > 3 (tiga) bulan

Pada Gambar 6, Keterangan kedaluwarsa dapat dicantumkan terpisah dari tulisan "Baik digunakan sebelum", namun harus disertai dengan petunjuk tempat pencantuman tanggal kedaluwarsa yang dapat berupa:
a. "Baik digunakan sebelum, lihat bagian bawah kaleng" atau
b. "Baik digunakan sebelum, lihat pada tutup botol".

Baik digunakan sebelum:
Lihat bagian bawah kaleng

Baik digunakan sebelum:
(Lihat pada bagian atas kemasan)



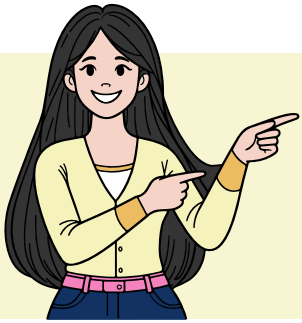
Gambar 6. Penulisan keterangan kadaluwarsa dengan petunjuk tempat pencantuman tanggal kadaluwarsa

Beberapa jenis pangan olahan tidak perlu mencantumkan keterangan kedaluwarsa, yaitu:

- Minuman yang mengandung alkohol paling sedikit 7% (tujuh persen), antara lain Anggur (*Grape Wine*), *Still Grape Wine*, Anggur Sparkling dan Semi Sparkling, Anggur Fortifikasi, Anggur Liqueur dan Anggur Manis, Anggur Buah, Anggur Beras, Anggur Beras Ketan, Anggur Brem Bali, Anggur Sayur (*Vegetable Wine*), Tuak, Anggur Tonikum Kinina, Sake, Mead, Anggur Madu, dan Minuman Spirit yang Mengandung Etanol Lebih Dari 15% (sesuai dengan Kategori Pangan);
- Roti dan kue yang mempunyai masa simpan kurang dari atau sama dengan 24 (dua puluh empat) jam; dan
- Cuka

CATATAN PENTING:

- Untuk pangan olahan dengan kriteria di atas harus mencantumkan informasi tanggal produksi dan/atau tanggal pengemasan.
- Apabila masa simpan sangat dipengaruhi oleh metode dan kondisi tempat penyimpanan, maka cara penyimpanan harus dicantumkan pada label, dan berdekatan dengan keterangan kedaluwarsa



Meskipun di Indonesia pencantuman keterangan masa simpan menggunakan istilah baik digunakan sebelum, namun saat membeli produk pangan dalam kemasan di negara-negara lain mungkin kita akan menemui beberapa istilah lain, diantaranya:

Best Before / Best if Used By menunjukkan tanggal hingga produk diperkirakan masih memiliki mutu terbaik (rasa, tekstur, nutrisi), bukan terkait keamanan pangan. Produk biasanya masih aman dikonsumsi setelah tanggal ini jika disimpan dengan benar. Beberapa negara yang menggunakan istilah ini adalah Uni Eropa, Amerika Serikat, Australia, dan banyak negara lain.

Use By menandakan batas akhir keamanan konsumsi produk. Setelah tanggal ini, produk sebaiknya tidak dikonsumsi karena risiko kesehatan meningkat. Umumnya digunakan untuk produk segar dan mudah rusak. Beberapa negara yang menggunakan istilah ini adalah Uni Eropa, Inggris, Australia, dan beberapa negara Asia.

Sell By adalah tanggal yang digunakan produsen/ritel sebagai batas waktu produk boleh dijual di toko. Tidak ditujukan untuk konsumen, tetapi untuk pengelolaan stok. Produk masih bisa dikonsumsi setelah tanggal ini jika disimpan dengan benar. Beberapa negara yang menggunakan istilah ini adalah Amerika Serikat, dan beberapa negara Eropa.

Expiration Date / Expires On adalah tanggal terakhir produk boleh dikonsumsi. Setelah tanggal ini, produk dianggap tidak aman. Biasanya digunakan untuk produk suplemen, obat, atau makanan bayi. Beberapa negara yang menggunakan istilah ini adalah Amerika Serikat, Kanada, beberapa negara Asia.

Packed Date adalah informasi pada label pangan yang menunjukkan kapan suatu produk dikemas, dan berfungsi untuk membantu produsen, distributor, serta konsumen dalam melacak masa simpan dan rotasi stok produk. Berbeda dengan istilah seperti "*best before*", "*use by*", atau "*expiration date*" yang berkaitan dengan mutu atau keamanan konsumsi, "*packed date*" hanya menandakan waktu pengemasan tanpa mengindikasikan batas aman konsumsi. Penggunaan "*packed date*" diwajibkan di beberapa negara seperti India (untuk hampir semua makanan kemasan) dan Australia serta Selandia Baru (untuk produk tertentu seperti daging dan makanan segar), sementara di Uni Eropa dan Amerika Serikat penggunaannya tidak diwajibkan secara umum dan lebih sering digunakan secara sukarela atau pada produk tertentu saja.

Mengetahui dan memahami masa simpan bukanlah sekadar kewajiban teknis, melainkan fondasi penting dalam rantai pasok pangan yang melibatkan produsen, distributor, retailer, hingga konsumen. Setiap produk yang dikonsumsi membawa tanggung jawab untuk menjamin mutu dan keamanannya sejak diproduksi hingga dikonsumsi.

Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap teori dan praktik pengujian masa simpan menjadi kunci untuk memastikan bahwa apa yang kita konsumsi tidak hanya aman dan bermutu, tetapi juga bertanggung jawab secara lingkungan. Dengan pemahaman ini, kita turut berkontribusi dalam mencegah pemborosan pangan yang sering kali terjadi akibat informasi yang tidak akurat atau kurang dipahami pada label masa simpan.

Perubahan Mutu Pangan

"Pangan bermutu harus aman dikonsumsi dengan bebas dari kontaminan berbahaya, bernilai gizi sesuai klaim produk, layak secara sensori, stabil selama masa simpan sebelum batas tanggal kedaluwarsa, serta memenuhi kriteria mutu lainnya yang disyaratkan"

Di sudut gang kecil yang ramai di pinggiran kota, Ibu Nani memulai langkah kecil yang penuh harapan untuk membantu roda ekonomi rumah tangga tetap berputar. Berbekal wajan warisan ibunya dan resep sederhana dari pengalaman dapur masa kecil, ia menggoreng tempe menjadi keripik kriuk yang gurih, renyah, dan nikmat. Produk itu ia beri nama "Keripik Tempe Kriuk Ibu Nani", dikemas dalam plastik bening yang memamerkan isi produk didalamnya. Keripik tempe tersebut nampak menggoda mata sebelum menggoda lidah, seolah ingin berkata bahwa kesederhanaan bisa begitu istimewa.

Usahanya mulai dikenal dan diperbincangkan dari mulut ke mulut. Lewat grup WhatsApp tetangga, media sosial lokal, hingga para pedagang asongan, pesanan datang perlahan tapi pasti. Namun, tak lama kemudian, awan kelabu mulai menggantung. Beberapa pelanggan mulai mengeluh, “Bu, keripiknya kok tengik, ya? Padahal saya simpan di tempat kering dan rapat.” Ibu Nani kaget dan mulai cemas. Minyak yang digunakan masih baru, tempenya pun dari bahan terbaik dan segar. Apa yang sebenarnya salah?

Dengan rasa penasaran dan semangat belajar yang tinggi, Ibu Nani mendaftar pelatihan UMKM dari dinas setempat yang membahas pengolahan pangan skala rumah tangga. Di sanalah titik balik usahanya bermula. Seorang narasumber menjelaskan bahwa minyak goreng, apalagi jika digunakan berulang kali tanpa penyaringan atau pergantian, sangat rentan terhadap oksidasi. Reaksi kimia ini menghasilkan senyawa seperti aldehid dan keton yang memberi aroma tengik. Senyawa tersebut tidak hanya menurunkan mutu rasa, tapi juga bisa berdampak negatif bagi kesehatan jika dikonsumsi berlebihan dalam jangka panjang.

Lebih lanjut, sang narasumber menjelaskan bahwa pengemasan dalam plastik bening yang terpapar cahaya dan udara mempercepat proses oksidasi tersebut. Sinar matahari yang menyinari produk selama penyimpanan, keberadaan oksigen di dalam kemasan, serta logam dari peralatan memasak dapat mempercepat terbentuknya senyawa perusak mutu. Ibu Nani tercengang mendengar hal itu, lalu bertanya tentang kemasan multilayer yang digunakan pesaingnya. Ternyata, kemasan multilayer memang efektif mengurangi kadar oksigen dalam kemasan, yang berarti memperlambat reaksi oksidasi dan memperpanjang masa simpan produk.

Dari pelatihan itu, Ibu Nani tidak hanya mendapatkan ilmu teknis pengolahan dan pengemasan, tapi juga pemahaman bahwa mutu bukan hanya soal renyah atau gurih, tapi juga tentang keamanan konsumsi dan kandungan gizinya yang sering kali luput diperhatikan. Beberapa pelanggan yang mengeluh sakit tenggorokan rupanya mengalami reaksi terhadap senyawa hasil oksidasi, sebuah dampak nyata dari ketidaktahuan akan pentingnya pengendalian mutu.

Cerita Ibu Nani membuka mata kita bahwa nilai sebuah produk pangan tidak bisa dilihat hanya dari mutu sensori seperti kelezatan atau tekstur. Produk pangan yang bermutu haruslah mampu memenuhi value yang diharapkan konsumen, diantaranya: halal, aman, bergizi, enak, dan jika mungkin, mendukung keberlanjutan lingkungan. Konsumen zaman sekarang semakin sadar dan peduli dengan apa yang mereka konsumsi, mulai dari bahan yang digunakan, cara produksi, hingga dampaknya bagi kesehatan dan lingkungan. Label-label seperti organik, bebas bahan pengawet, atau ramah lingkungan menjadi daya tarik tersendiri. Oleh karena itu, produsen pun dituntut untuk tidak hanya pandai memasak, tapi juga bijak, transparan, dan berbasis ilmu pengetahuan dalam menyampaikan informasi produk.

Setelah memahami akar permasalahan, Ibu Nani mulai menerapkan berbagai perbaikan sederhana yang berdampak besar bagi keberlanjutan usahanya. Ia mengganti kebiasaannya menggunakan minyak secara berulang dengan minyak baru untuk setiap proses penggorengan. Meski awalnya terasa lebih mahal, ia menyadari bahwa pengeluaran itu justru merupakan bentuk investasi untuk menjaga mutu dan kepuasan pelanggan. Ia juga mengganti kemasan bening dengan plastik multilayer yang tidak tembus cahaya, dan mulai belajar ilmu pengemasan melalui video, pelatihan daring, hingga bertukar pengalaman dengan sesama pelaku usaha kecil. Selain itu, Ibu Nani mulai mencatat tanggal produksi, menyusun estimasi masa simpan berdasarkan uji coba sederhana yang ia lakukan sendiri di rumah, bahkan mencoba menyusun form monitoring mutu harian.

Tak hanya itu, ia juga mulai menambahkan label informasi gizi, mengurus sertifikasi halal, serta menampilkan informasi saran penyimpanan dan peringatan tanggal kedaluwarsa pada label di kemasan. Bahkan, ia menyusun sistem kode produksi sederhana yang mencakup batch produksi, agar dapat melakukan pelacakan jika suatu saat ada keluhan dari konsumen. Inovasi kecil ini membuatnya lebih percaya diri saat menawarkan produk ke toko oleh-oleh dan platform daring. Perlahan namun pasti, kepercayaan pelanggan mulai tumbuh kembali. Produk Ibu Nani kini tak hanya dikenal karena rasanya yang gurih dan teksturnya yang renyah, tetapi juga karena keamanan dan mutu gizinya.

Dari pengalaman pahit yang pernah dilalui, Ibu Nani belajar bahwa menjadi pelaku usaha pangan bukan hanya soal menjual rasa, tapi juga tentang tanggung jawab, ilmu, dan kejujuran. Ia kini percaya bahwa ilmu pengetahuan, sekecil apapun, dapat menjadi bahan bakar besar dalam membangun bisnis yang berkelanjutan dan bermartabat.

Konsep Mutu Pangan

Konsep mutu pangan memiliki makna yang beragam dan sering kali ditafsirkan secara berbeda, tergantung pada perspektif dan kepentingan pihak yang menilainya. Bagi produsen, mutu mungkin berkaitan dengan efisiensi produksi dan konsistensi hasil akhir. Bagi konsumen, mutu bisa berarti rasa, kesegaran, dan keamanan produk. Sementara bagi regulator atau peneliti, mutu cenderung didekati dari sisi standar ilmiah, legalitas, dan keselamatan konsumsi. Keragaman interpretasi ini muncul karena mutu pangan mencakup banyak dimensi, mulai dari aspek keamanan pangan, kandungan gizi, dan karakteristik sensori (seperti rasa, tekstur, warna), hingga isu yang lebih luas seperti keberlanjutan lingkungan, etika produksi, dan bahkan nilai simbolik atau budaya dari suatu makanan.

Meskipun perspektif nya beragam, terdapat satu benang merah yang menyatukan semua pendekatan tersebut, yaitu bahwa mutu pangan secara esensial berkaitan dengan kemampuan suatu produk untuk dikonsumsi secara aman, memenuhi standar yang berlaku, dan memberikan kepuasan kepada konsumen. Dengan kata lain, mutu pangan mencerminkan keseimbangan antara karakteristik objektif yang dapat diukur secara ilmiah dan persepsi subjektif yang dibentuk oleh pengalaman serta ekspektasi konsumen.

Definisi Mutu Pangan Menurut Undang-Undang Pangan Indonesia

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan, **mutu pangan didefinisikan sebagai "nilai yang ditentukan atas dasar kriteria keamanan pangan, kandungan gizi, dan standar lain yang berlaku bagi pangan, yang dilakukan secara organoleptik, fisik, kimia, maupun mikrobiologi"** (UU No. 18 Tahun 2012, Pasal 1 ayat 17).

Definisi ini menegaskan bahwa mutu pangan di Indonesia mencakup tiga aspek utama:

1. **Keamanan pangan:** Pangan harus bebas dari bahaya biologis, kimia, dan fisik yang dapat mengganggu, merugikan, atau membahayakan kesehatan manusia.
2. **Kandungan gizi:** Pangan harus mengandung zat gizi yang sesuai dengan standar yang ditetapkan, sehingga dapat mendukung kesehatan dan pertumbuhan masyarakat.
3. **Standar lain yang berlaku:** Termasuk standar organoleptik (rasa, aroma, tekstur, warna), fisik, kimia, dan mikrobiologi yang diatur dalam peraturan perundang-undangan.

FAO & Codex Alimentarius

FAO dan Codex Alimentarius, sebagai lembaga internasional yang sangat berpengaruh dalam penetapan standar pangan global, mendefinisikan **mutu pangan sebagai keseluruhan karakteristik pangan yang dapat diterima oleh konsumen.** K**arakteristik ini meliputi keamanan pangan (*food safety*), nilai gizi, sifat sensorik (warna, rasa, tekstur), serta aspek legal dan keandalan produk.** Standar yang ditetapkan oleh Codex menjadi acuan utama dalam perdagangan pangan internasional dan perlindungan konsumen, memastikan bahwa pangan yang beredar memenuhi persyaratan keamanan, mutu, dan pelabelan yang jelas (Djekić *et al*., 2023). Definisi ini menekankan bahwa mutu pangan tidak hanya soal rasa atau penampilan, tetapi juga mencakup aspek keamanan dari bahaya biologis, kimia, dan fisik, serta kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku. Dengan demikian, mutu pangan menjadi konsep yang holistik, menggabungkan dimensi objektif (seperti kandungan gizi dan keamanan) dan subjektif (seperti preferensi konsumen).

European Food Safety Authority (EFSA)

EFSA, sebagai otoritas keamanan pangan di Eropa, definisi mutu pangan diperluas dengan memasukkan aspek keberlanjutan dan keaslian produk. Menurut EFSA, **mutu pangan adalah kombinasi atribut yang mencakup keamanan pangan, nilai gizi, keaslian (*authenticity*), dan keberlanjutan (*sustainability*). Penilaian mutu pangan juga melibatkan penerapan teknologi canggih untuk memastikan ketertelusuran (*traceability*), keamanan, dan mutu produk secara menyeluruh** (Djekić *et al*., 2023; Hassoun *et al*., 2022). Konsep ini sejalan dengan perkembangan industri pangan modern yang menuntut transparansi dan akuntabilitas dalam seluruh rantai pasok, mulai dari produksi hingga konsumsi. EFSA juga menekankan pentingnya inovasi teknologi, seperti digitalisasi dan otomasi, untuk meningkatkan efektivitas pengawasan mutu pangan.

Perspektif Praktisi Sistem Pangan

Penelitian terbaru yang melibatkan pelaku utama sistem pangan di Brasil menunjukkan bahwa m**utu pangan dipahami sebagai konsep multidimensi yang mencakup delapan kategori utama: zat gizi, keberlanjutan, sensori, higienis-sanitasi, kepedulian, regulasi, keandalan, dan nilai simbolik.** Dimensi zat gizi dan keberlanjutan menjadi perhatian utama, terutama bagi pelaku di sektor produksi pangan. Sementara itu, pelaku di bidang manajemen, pemasaran, dan produksi makanan lebih menekankan pada dimensi zat gizi dan sensori (Gomes *et al*., 2024).

Konsep Mutu Pangan: Intrinsik dan Ekstrinsik

Mutu pangan merupakan konsep yang sangat penting dalam industri makanan, karena menentukan tingkat penerimaan dan kepuasan konsumen terhadap suatu produk. Mutu pangan tidak hanya mencakup aspek keamanan dan kandungan gizi, tetapi juga melibatkan berbagai karakteristik yang memengaruhi persepsi konsumen, baik yang berasal dari dalam produk (intrinsik) maupun dari luar produk (ekstrinsik).

Karakteristik intrinsik adalah atribut yang melekat pada produk pangan itu sendiri dan tidak dapat diubah tanpa mengubah produk secara fisik. Contoh karakteristik intrinsik meliputi rasa, aroma, warna, tekstur, kandungan gizi, dan penampilan fisik produk. Konsumen sering kali menilai mutu pangan berdasarkan atribut-atribut ini, karena mereka langsung memengaruhi pengalaman sensori saat mengonsumsi makanan. Misalnya, rasa dan tekstur daging atau warna dan aroma buah menjadi faktor utama dalam penilaian mutu secara intrinsik.

Sementara itu, **karakteristik ekstrinsik adalah atribut yang tidak melekat secara fisik pada produk, tetapi berkaitan dengan faktor-faktor eksternal yang dapat memengaruhi persepsi konsumen.** Karakteristik ekstrinsik meliputi harga, merek, kemasan, label, sertifikasi, asal-usul produk, dan informasi zat gizi yang tertera pada kemasan. Faktor-faktor ini sering kali menjadi pertimbangan utama dalam keputusan pembelian, terutama ketika konsumen tidak dapat menilai karakteristik intrinsik secara langsung sebelum membeli produk.

Penelitian menunjukkan bahwa baik karakteristik intrinsik maupun ekstrinsik memiliki peran penting dalam membentuk preferensi dan perilaku konsumen. Namun, tingkat kepentingan masing-masing atribut dapat berbeda-beda tergantung pada segmen konsumen, jenis produk, dan situasi pembelian. Misalnya, konsumen yang sangat peduli pada kesehatan cenderung lebih memperhatikan label nutrisi dan sertifikasi (ekstrinsik), sedangkan konsumen yang mencari kenikmatan rasa akan lebih fokus pada atribut sensori (intrinsik). Oleh karena itu, produsen pangan perlu memahami dan mengelola kedua jenis karakteristik ini secara seimbang untuk meningkatkan daya saing produk di pasar. Integrasi antara karakteristik intrinsik dan ekstrinsik dapat menciptakan persepsi mutu pangan yang lebih utuh dan positif di mata konsumen.

Sudah bisakah kamu membedakan mutu internal dan mutu eksternal pangan?

1 Mutu Internal

Kriteria mutu yang melekat pada produk pangan itu sendiri dan tidak dapat diubah tanpa mengubah produk secara fisik.

Faktor-faktor yang termasuk sebagai mutu internal :

Rasa

Aroma

Warna

Tekstur

Kandungan Gizi

Penampilan Fisik Produk

2 Mutu Eksternal

Kriteria mutu pangan yang ditentukan berdasarkan atribut yang tidak melekat secara fisik pada produk, tetapi berkaitan dengan faktor-faktor eksternal yang dapat memengaruhi persepsi konsumen.

Faktor-faktor yang termasuk sebagai mutu eksternal :

Harga

Kemasan

Label

Sertifikasi

Asal Usul Produk

Informasi Zat Gizi

Mutu pangan dapat mengalami perubahan selama penyimpanan. Oleh karena itu, perusahaan harus dapat memberikan **jaminan mutu kepada konsumen**, salah satunya dengan m**emberikan informasi masa simpan.** Dengan informasi masa simpan, konsumen dapat mengetahui rentang waktu untuk mendapatkan mutu pangan yang dijanjikan oleh produsen, sehingga **konsumen merasa puas dan aman** dalam mengkonsumsi produk pangan tersebut. Penetapan masa simpan sangat penting karena selama penyimpanan, mutu pangan dapat menurun akibat perubahan fisik, kimia, maupun mikrobiologis, seperti penurunan tekstur, perubahan rasa, atau penurunan zat gizi. Setiap bahan pangan memiliki karakteristik dan daya tahan yang berbeda, sehingga proses penyimpanan dan penentuan masa simpan harus disesuaikan untuk menjaga mutu dan keamanan pangan hingga dikonsumsi.

Faktor Mutu Teknis Produk Pangan

Dalam menentukan berapa lama masa simpan suatu produk pangan, produsen harus memahami faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mutu pangan serta cara untuk mengukurnya. Pengukuran mutu pangan ini sangat krusial. Di sisi lain indikator mutu ini tidak selalu tetap dan bisa berubah sesuai jenis pangannya.

Perubahan atau kerusakan pangan kaitannya dengan mutu antara lain:

Mikrobiologis

Mikroorganisme (bakteri, kapang, khamir) yang tidak diinginkan dapat tumbuh selama penyimpanan menyebabkan proses pembusukan

Kandungan Gizi

Enzim endogenous (yang terdapat dalam pangan itu sendiri) dapat menghidrolisis protein, lemak, dan pati sehingga mempengaruhi tekstur dan aroma

Fisikokimia

Ketidakstabilan sistem pangan akibat ukuran partikel yang berbeda-beda, menyebabkan pemisahan fase, penggumpalan, atau perubahan kekentalan

Kimiawi

Reaksi kimia yang paling penting yaitu reaksi oksidasi dan reaksi Maillard

Biokimia

Reaksi biokimia terutama reaksi enzimatis seperti reaksi pencoklatan oleh enzim polifenol oksidase, ataupun reaksi biokimia akibat enzim-enzim lain yang disekresikan oleh mikroba

Organoleptik

Reaksi-reaksi kimia dapat menyebabkan perubahan, terutama rasa dan aroma. Pada produk kering, penyimpanan yang tidak tepat dapat mempengaruhi tekstur (kerenyahan)

Masa simpan ditentukan dari faktor kritis yang paling cepat rusak. Oleh karena itu produsen harus mampu mengidentifikasi faktor mutu mana yang paling kritis, yang paling cepat mengalami perubahan/kerusakan selama produk itu disimpan.

Mutu Pangan Sebagai Alat Diferensiasi Pasar

Dalam lanskap industri pangan yang semakin kompetitif dan dinamis, mutu pangan tidak lagi hanya dipandang sebagai syarat dasar pemenuhan regulasi atau aspek teknis dalam produksi. Saat ini, mutu pangan telah menjelma menjadi alat strategis dalam diferensiasi pasar, yaitu sebagai cara untuk membedakan suatu produk dari kompetitornya di benak konsumen. Mutu yang tinggi dan konsisten tidak hanya meningkatkan daya saing, tetapi juga menjadi identitas, reputasi, dan keunggulan kompetitif jangka panjang bagi sebuah merek atau perusahaan.

1. Makna Mutu Pangan dalam Konteks Pasar

Secara umum, mutu pangan merujuk pada keseluruhan karakteristik suatu produk pangan yang memengaruhi penerimaan konsumen, termasuk aspek keamanan, gizi, mutu sensori, daya tahan, kenyamanan, serta keberlanjutan. Namun dalam konteks pasar, mutu tidak hanya mencerminkan mutu objektif dari suatu produk, tetapi juga persepsi dan harapan konsumen terhadap nilai yang ditawarkan.

Menurut Chung, Ryu, dan Park (2021), konsumen modern tidak hanya mencari produk yang aman dan enak, tetapi juga menilai mutu berdasarkan kesesuaian dengan gaya hidup, nilai-nilai pribadi, dan identitas sosial mereka. Oleh karena itu, perusahaan pangan yang mampu menerjemahkan dimensi mutu ke dalam nilai tambah yang relevan bagi konsumen akan memiliki posisi lebih kuat dalam pasar.

2. Perubahan Preferensi Konsumen dan Tantangan Pasar

Konsumen saat ini lebih sadar akan apa yang mereka konsumsi. Mereka tidak hanya tertarik pada rasa atau harga, tetapi juga memperhatikan asal-usul bahan, dampak lingkungan, kejelasan label, dan proses produksi. Tren ini sejalan dengan meningkatnya minat terhadap produk pangan organik, lokal, bebas gluten, rendah gula, atau berbasis nabati. Semua tren ini mencerminkan pergeseran paradigma bahwa mutu pangan juga bisa menjadi cerminan nilai dan identitas konsumen itu sendiri.

Sebagai contoh, dua produk biskuit bisa memiliki harga serupa dan rasa yang mirip, tetapi jika salah satunya memiliki label "bebas bahan pengawet" atau "diproduksi secara berkelanjutan", maka produk tersebut berpotensi lebih menarik bagi segmen pasar tertentu. Dalam hal ini, elemen mutu digunakan sebagai strategi *positioning* untuk membedakan diri dari produk sejenis.

3. Mutu dan Loyalitas Konsumen

Mutu produk yang baik, konsisten, dan sesuai dengan ekspektasi konsumen merupakan pondasi utama terbentuknya loyalitas. Loyalitas tidak hanya tercermin dari pembelian berulang, tetapi juga dari keterikatan emosional konsumen terhadap merek. Konsumen yang puas cenderung bertahan dalam jangka panjang, bahkan bersedia memaafkan kekurangan kecil asalkan mutu secara keseluruhan tetap terjaga. Dalam era digital, loyalitas ini juga ditunjukkan melalui perilaku konsumen yang merekomendasikan produk ke orang lain, meninggalkan ulasan positif, atau membagikan pengalaman mereka melalui media sosial.

Menurut Ab Rahman *et al*. (2022), persepsi positif terhadap mutu produk, terutama dalam aspek keamanan dan kesegaran, memiliki pengaruh signifikan terhadap loyalitas pelanggan, bahkan di sektor usaha kecil dan menengah. Produk yang dinilai bermutu tinggi memberikan rasa aman dan kepuasan psikologis, yang mendorong konsumen untuk memilih merek tersebut secara konsisten, meskipun tersedia alternatif lain dengan harga lebih murah. Dengan demikian, strategi peningkatan mutu menjadi investasi jangka panjang dalam membangun *brand trust*, memperkuat posisi merek, dan mempertahankan keberlangsungan bisnis dalam pasar yang kompetitif.

4. Tantangan dan Peluang Diferensiasi Berdasarkan Mutu

Menjadikan mutu sebagai alat diferensiasi pasar menghadirkan tantangan yang kompleks namun penuh potensi strategis. Tantangan utamanya terletak pada bagaimana menjaga konsistensi mutu di seluruh rantai pasok, mulai dari bahan baku, proses produksi, hingga distribusi akhir ke konsumen. Selain itu, perusahaan juga harus menghadapi tekanan harga, dinamika permintaan pasar, serta ekspektasi konsumen yang terus berubah seiring berkembangnya tren gaya hidup dan kesadaran kesehatan.

Namun di balik tantangan tersebut, terbuka peluang besar untuk menciptakan nilai unik yang membedakan produk dari pesaing. Inovasi teknologi, seperti pemantauan mutu berbasis IoT (*Internet of Things*), sensor cerdas, dan integrasi sistem ketertelusuran digital (*blockchain*), memungkinkan produsen memberikan bukti nyata mengenai mutu produk mereka kepada konsumen. Menurut Mao *et al.* (2023), konsumen cenderung lebih percaya dan tertarik pada produk yang transparan dalam proses produksinya dan menunjukkan komitmen terhadap mutu. Perusahaan yang mampu mengomunikasikan mutu secara strategis, misalnya melalui label informatif, sertifikasi mutu, narasi keberlanjutan, dan testimonial cenderung akan memiliki keunggulan kompetitif yang sulit disaingi. Dengan demikian, diferensiasi berbasis mutu bukan hanya alat pemasaran, tetapi juga strategi bisnis jangka panjang yang menyentuh aspek fungsional, emosional, dan sosial dari keputusan konsumen.

5. Mutu dan Loyalitas Konsumen

Mutu yang baik dan konsisten akan menciptakan pengalaman positif bagi konsumen. Ketika ekspektasi konsumen terpenuhi secara berulang, hal ini akan membentuk loyalitas. Loyalitas ini bukan hanya ditunjukkan dari pembelian ulang, tetapi juga dari rekomendasi, ulasan positif, dan keterlibatan konsumen dalam promosi informal. Bahkan di era digital saat ini, konsumen yang puas dengan mutu produk cenderung akan membagikan pengalamannya melalui media sosial, platform ulasan, atau komunitas daring, yang secara tidak langsung memperluas jangkauan merek tanpa biaya promosi tambahan.

Dalam studi yang dilakukan oleh Ab Rahman, Sulaiman, dan Othman (2022), ditemukan bahwa persepsi mutu yang tinggi berkontribusi signifikan terhadap tingkat loyalitas konsumen terhadap produk pangan dari usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Produk dengan mutu yang konsisten memberikan rasa percaya dan kenyamanan bagi konsumen untuk kembali membeli tanpa ragu, bahkan jika harga lebih tinggi dari pesaing. Hal ini membuktikan bahwa mutu bukan sekadar nilai tambah, melainkan faktor penentu dalam mempertahankan keberlangsungan pasar sebuah produk di tengah persaingan yang ketat.

6. Tantangan dan Peluang Diferensiasi Berdasarkan Mutu

Menjadikan mutu sebagai alat diferensiasi tentu bukan hal yang mudah. Perusahaan harus bersaing dalam biaya produksi, kecepatan distribusi, tuntutan sertifikasi, dan tekanan harga dari kompetitor. Selain itu, menjaga konsistensi mutu dalam skala besar, terutama untuk produk segar atau musiman, menjadi tantangan tersendiri. Namun, justru dalam tantangan itulah terletak peluang. Perusahaan yang mampu menjadikan mutu sebagai nilai inti, bukan sekadar jargon promosi, akan mendapatkan keunggulan strategis yang sulit ditiru oleh pesaing.

Penerapan sistem manajemen mutu yang baik, seperti HACCP, ISO 22000, atau pendekatan berbasis teknologi (seperti *blockchain* untuk ketertelusuran dan sensor pintar untuk kontrol mutu), dapat menjadi pembeda nyata di pasar. Tak hanya itu, keterbukaan terhadap umpan balik konsumen dan respons cepat terhadap keluhan juga menjadi bagian dari strategi mutu yang terintegrasi. Peluang diferensiasi berdasarkan mutu akan semakin besar apabila perusahaan mampu menggabungkan aspek teknis, emosional, dan nilai-nilai sosial ke dalam produk mereka, seperti isu keberlanjutan, kesejahteraan petani, atau kepedulian terhadap kesehatan. Dengan pendekatan holistik ini, mutu tidak hanya menjadi jaminan teknis, tetapi juga menjadi cerita yang menggugah konsumen untuk memilih dan tetap setia.

Reaksi-Reaksi Kerusakan Pangan

Selama penyimpanan, pangan dapat mengalami berbagai reaksi yang menyebabkan penurunan mutu. Salah satu reaksi utama adalah pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme, yang dapat menghasilkan senyawa berbahaya seperti amina biogenik, nitrit, serta senyawa penyebab bau dan rasa tidak sedap. Mikroorganisme seperti *Brochothrix*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, dan *Weissella* diketahui berperan dalam pembentukan amina biogenik dan konversi nitrat menjadi nitrit selama penyimpanan makanan, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi dan menurunkan mutu sensori pangan.

Selain itu, reaksi oksidasi lemak merupakan penyebab utama penurunan mutu pada pangan yang mengandung lemak. Oksidasi lemak menghasilkan senyawa seperti *malondialdehida* (MDA) yang dapat menyebabkan bau tengik, perubahan rasa, dan bahkan menurunkan nilai gizi pangan. Nilai TBARS (*Thiobarbituric Acid Reactive Substances*) yang meningkat selama penyimpanan menjadi indikator terjadinya oksidasi lemak dan penurunan mutu produk.

Reaksi degradasi protein juga sering terjadi selama penyimpanan, terutama pada suhu tinggi atau dalam kondisi penyimpanan yang kurang optimal. Degradasi protein dapat menghasilkan amonia dan senyawa volatil lain yang menyebabkan perubahan aroma, rasa, serta tekstur pangan. Selain itu, kehilangan asam amino esensial akibat reaksi ini dapat menurunkan nilai gizi produk pangan.

Perubahan tekstur dan sifat fisik pangan juga menjadi indikator penurunan mutu selama penyimpanan. Misalnya, pada produk olahan daging atau makanan kaleng, peningkatan suhu dan lama penyimpanan dapat menyebabkan penurunan kekerasan (*hardness*) dan perubahan konsistensi, sehingga mengurangi daya tarik sensori dan penerimaan konsumen.

Secara keseluruhan, penurunan mutu pangan selama penyimpanan merupakan hasil interaksi kompleks antara reaksi mikrobiologis, kimia, dan fisik. Faktor-faktor seperti suhu, kadar air, oksigen, dan komposisi pangan sangat memengaruhi laju dan jenis reaksi yang terjadi. Oleh karena itu, pengendalian kondisi penyimpanan sangat penting untuk meminimalkan reaksi-reaksi tersebut sebagai upaya untuk menjaga mutu pangan selama masa simpan.

Reaksi Metabolisme Pertumbuhan Mikroba

Pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme merupakan penyebab utama penurunan mutu pangan selama penyimpanan. Mikroorganisme seperti bakteri, khamir, dan kapang memanfaatkan komposisi zat gizi dalam pangan untuk tumbuh dan berkembang, menghasilkan berbagai senyawa metabolit yang menyebabkan perubahan sensori dan penurunan mutu. Sebagai contoh, saat daging sapi disimpan dalam kemasan yang masih mengandung oksigen, bakteri *Leuconostoc* menghasilkan senyawa volatil seperti *diacetyl*, *1-octen-3-ol*, dan asam heksanoat yang menyebabkan bau asam, aroma tidak sedap, dan perubahan rasa. Daging sapi dalam kemasan yang mengandung oksigen juga terdeteksi mengalami kerusakan secara sensori lebih cepat dibandingkan kemasan vakum, dengan ciri-ciri bau asam, lendir, dan perubahan warna (Jääskeläinen *et al.*, 2016).

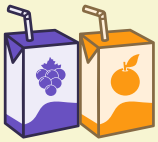
Pada produk ikan dan *seafood*, bakteri *Pseudomonas* menjadi penyebab utama pembusukan. *Pseudomonas* mampu tumbuh pada suhu rendah dan menghasilkan enzim hidrolitik seperti protease dan lipase yang memecah protein dan lemak, menghasilkan senyawa volatil seperti *trimetilamina* (TMA), amonia, dan senyawa sulfur. Kondisi ini menyebabkan bau amis, tekstur berlendir, dan perubahan warna pada ikan. Selain itu, pertumbuhan bakteri seperti *Serratia* dan *Carnobacterium* juga ditemukan pada ikan yang disimpan dengan berbagai metode pengemasan, di mana peningkatan kadar TVB-N (*Total Volatile Basic Nitrogen*) dan TMA menjadi indikator utama kerusakan sensori seperti bau busuk dan tekstur yang menurun (Chen *et al.*, 2024; Sterniša et al., 2019).

Secara umum, pertumbuhan mikroorganisme pada pangan segar menyebabkan perubahan pH, pembentukan gas, lendir, dan senyawa toksik seperti amina biogenik (misal: histamin, putresin, kadaverin) yang tidak hanya menurunkan mutu sensori tetapi juga berpotensi membahayakan kesehatan konsumen. Interaksi antar mikroorganisme juga dapat mempercepat proses pembusukan melalui mekanisme metabiosis, di mana satu mikroba menghasilkan substrat yang dimanfaatkan mikroba lain untuk pertumbuhan dan pembentukan senyawa perusak (Gram *et al.*, 2002). Pada produk susu, bakteri *Pseudomonas fluorescens* menghasilkan enzim protease yang tahan panas, sehingga meskipun susu telah dipasteurisasi, enzim ini tetap aktif dan menyebabkan kerusakan selama penyimpanan. Hasilnya adalah perubahan tekstur menjadi kental atau berlendir, bau asam, dan rasa tidak enak yang menurunkan penerimaan konsumen terhadap produk susu (Erkmen & Bozoğlu, 2016).

Reaksi Fermentasi

Produk yang Rentan Mengalami Reaksi Fermentasi

- **Fermentasi alkohol**



Sari buah

Sirup

Roti

- **Fermentasi asam laktat**

Jus Buah

Roti

Sosis

Fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat akibat kontaminasi mikroorganisme dapat menurunkan mutu dan masa simpan berbagai pangan. Misalnya, pada jus buah seperti jus semangka, fermentasi asam laktat oleh bakteri asam laktat (LAB) dapat menyebabkan perubahan rasa menjadi lebih asam, munculnya aroma dan flavor yang tidak diinginkan, serta perubahan warna yang mengurangi daya tarik produk. Sementara itu, fermentasi alkohol akibat kontaminasi kapang atau ragi pada produk seperti sari buah atau minuman manis dapat menghasilkan etanol dan karbon dioksida, yang menyebabkan produk menjadi beralkohol, berbuih, atau bahkan kemasan menggembung, sehingga menurunkan mutu sensori dan keamanan pangan (Mandha *et al.*, 2021; Shetty *et al.*, 2022).

Selain itu, pada produk roti, kontaminasi bakteri asam laktat dapat menyebabkan fermentasi asam laktat yang berlebihan sehingga roti menjadi terlalu asam dan teksturnya berubah, sedangkan fermentasi alkohol yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pembentukan gas berlebih yang merusak struktur roti. Pada produk daging olahan seperti sosis fermentasi, fermentasi asam laktat yang terkontrol justru dapat memperpanjang masa simpan dengan menghambat pertumbuhan mikroba pembusuk, namun jika terjadi kontaminasi berlebih, mutu rasa dan tekstur bisa menurun. Oleh karena itu, pengendalian fermentasi sangat penting untuk menjaga mutu dan memperpanjang masa simpan pangan seperti jus buah, roti, dan sosis fermentasi (Xia *et al.*, 2023; Dopazo *et al.*, 2023).

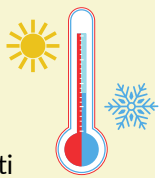
Pangan sebagai sumber zat gizi merupakan material organik yang mengandung berbagai komponen seperti karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, air, serta komponen organik lainnya. Namun demikian, kerusakan pada pangan ini tentu saja dapat menurunkan nilai zat gizinya, dimana kerusakan ini dapat disebabkan oleh kontaminasi mikrobiologi, reaksi kimia, maupun perubahan fisik. Sebagai material organik, pangan merupakan substrat bagi mikroorganisme. Mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan ragi dapat tumbuh dan berkembang biak pada pangan, memanfaatkan kandungan zat gizi yang ada sebagai sumber energi dan pertumbuhan. Proses ini tidak hanya menyebabkan perubahan sensori seperti bau, rasa, dan tekstur, tetapi juga dapat menurunkan kandungan zat gizi penting, misalnya protein dan vitamin, serta berpotensi menghasilkan senyawa berbahaya bagi kesehatan tubuh. Selain itu, reaksi kimia seperti oksidasi lemak dan enzimatis juga dapat mempercepat kerusakan, sehingga semakin memperpendek masa simpan dan menurunkan mutu pangan secara keseluruhan (Snyder *et al*., 2024; Azad *et al*., 2019).

Faktor-faktor yang Dapat Mempengaruhi Laju Pertumbuhan Mikroorganisme

Faktor Intrinsik

Sifat fisikokimia dari suatu pangan, seperti kandungan zat gizi, pH, Aw, komponen antimikroba, serta struktur fisik pangan.

Faktor Ekstrinsik



Kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi keawetan pangan, seperti kelembaban udara, suhu, dan kandungan udara.

Faktor Implisit

Karakteristik interaksi antara mikroba dengan pangan tempat dia hidup, seperti fase pertumbuhan mikroba, dan keberadaan mikroba lain dalam sistem pangan (sifat sinergis dan/atau antagonis dengan mikroba yang lain).

Faktor Proses Pengolahan

Pencucian, pemanasan (pasteurisasi/sterilisasi), serta pengemasan.

Reaksi Hidrolisis

Reaksi hidrolisis pada pangan sangat dipengaruhi oleh keberadaan air dan enzim. Pada produk pangan yang tinggi lemak, air dapat memicu hidrolisis triasilgliserol menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Asam lemak bebas ini lebih rentan terhadap oksidasi dibandingkan asam lemak yang masih terikat dalam bentuk trigliserida, sehingga meningkatkan risiko terjadinya reaksi oksidasi lemak yang menyebabkan ketengikan dan penurunan mutu pangan. Selain itu, asam lemak rantai pendek seperti asam butirat yang dihasilkan dari hidrolisis lemak memiliki bau yang tajam dan tidak sedap, sehingga dapat menyebabkan pembentukan off-flavor pada produk pangan, menurunkan daya terima konsumen, dan memperpendek masa simpan produk.

Selain air, enzim lipase juga berperan penting dalam proses hidrolisis lemak. Lipase dapat berasal dari bahan pangan itu sendiri (endogen) atau dari kontaminasi mikroba. Aktivitas lipase yang tinggi akan mempercepat pemecahan lemak menjadi asam lemak bebas dan gliserol, sehingga mempercepat terjadinya kerusakan lemak. Proses ini tidak hanya menurunkan mutu sensori, tetapi juga dapat menurunkan nilai gizi pangan akibat degradasi komponen lemak esensial. Oleh karena itu, pengendalian kadar air dan aktivitas enzim sangat penting untuk menjaga stabilitas lemak dalam produk pangan (He *at al.*, 2012; Borrajo *et al.*, 2020) .

Reaksi hidrolisis juga dapat terjadi pada komponen karbohidrat dan protein akibat aktivitas enzim lain seperti amilase dan protease. Enzim amilase dapat menghidrolisis pati menjadi gula sederhana, yang menyebabkan perubahan tekstur menjadi lebih lunak dan rasa menjadi lebih manis pada produk berbasis pati. Sementara itu, enzim protease, baik yang berasal dari bahan pangan maupun dari mikroba, dapat menghidrolisis protein menjadi peptida dan asam amino. Proses ini menyebabkan pelunakan tekstur, pembentukan off-flavor, serta perubahan warna pada produk pangan, sehingga menurunkan mutu dan masa simpan produk (Berzina & Spalvins, 2023)

Hasil hidrolisis protein juga dapat menghasilkan peptida bioaktif yang memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan. Namun, dalam konteks kerusakan pangan, hidrolisis yang tidak terkendali justru lebih sering menyebabkan penurunan mutu, seperti perubahan tekstur, rasa, dan aroma yang tidak diinginkan (Rivero-Pino *et al.*, 2023; Marcet *et al.*, 2016).

Pada produk susu, seperti mentega dan keju, reaksi hidrolisis lemak oleh enzim lipase atau karena adanya air dapat menghasilkan asam lemak bebas. Asam lemak rantai pendek seperti asam butirat yang terbentuk dari hidrolisis ini memiliki bau tajam dan tidak sedap, sehingga menyebabkan off-flavor dan menurunkan mutu sensori produk. Selain itu, asam lemak bebas lebih mudah teroksidasi, mempercepat ketengikan dan memperpendek masa simpan produk susu (Davies & Thomas, 1973).

Pada produk telur, khususnya putih telur, hidrolisis protein oleh enzim protease dapat mengubah struktur protein menjadi peptida berukuran kecil. Proses ini dapat meningkatkan kemampuan berbusa, namun juga dapat menyebabkan perubahan tekstur dan rasa yang tidak diinginkan jika terjadi secara berlebihan. Pada daging olahan, hidrolisis protein dapat menyebabkan pelunakan tekstur dan pembentukan peptida atau asam amino yang berkontribusi pada off-flavor, sehingga menurunkan mutu dan masa simpan produk (Lapeña *et al.*, 2018; Lyu *et al*., 2023).

Pada produk roti atau kue, enzim amilase dapat menghidrolisis pati menjadi gula sederhana. Akibatnya, tekstur produk menjadi lebih lembek dan rasa menjadi lebih manis dari yang diharapkan. Selain itu, hidrolisis pati yang berlebihan dapat menyebabkan perubahan struktur dan penurunan mutu produk selama penyimpanan (Abidin & Hassan, 2023; Li & Hu, 2021).

Berbagai Penyebab Reaksi Hidrolisis

- **Reaksi Hidrolisis Akibat Air**

Produk kue basah yang mengandung santan

- **Reaksi Hidrolisis Akibat Enzim Amilase**

Makanan yang dipanggang seperti roti dan sereal

- **Reaksi Hidrolisis Akibat Enzim Protease**

Produk daging, ikan dan turunan susu

Reaksi Pencoklatan Enzimatis

Reaksi pencoklatan enzimatis merupakan salah satu penyebab utama penurunan mutu pangan, terutama pada buah dan sayuran segar. Proses ini terjadi ketika enzim polifenol oksidase (PPO) mengkatalisis oksidasi senyawa fenolik menjadi o-quinon, yang kemudian berpolimerisasi membentuk pigmen coklat (melanin). Pencoklatan ini tidak hanya mengubah warna, tetapi juga dapat menyebabkan perubahan rasa, aroma, dan nilai gizi, sehingga menurunkan daya tarik dan mutu produk pangan di mata konsumen (Singh *et al.*, 2018).

Penurunan mutu akibat pencoklatan enzimatis sangat nyata pada produk seperti apel, kentang, dan pisang. Sebagai contoh, pada apel yang dipotong atau mengalami kerusakan mekanis, PPO dan substrat fenolik yang sebelumnya terpisah di dalam sel akan bercampur akibat rusaknya struktur sel, sehingga reaksi pencoklatan berlangsung cepat. Studi kasus pada apel menunjukkan bahwa pencoklatan enzimatis menyebabkan perubahan warna menjadi coklat, penurunan tekstur, serta hilangnya rasa segar, yang pada akhirnya memperpendek masa simpan dan menurunkan nilai jual produk (Nisa *et al.*, 2023).

Selain apel, pencoklatan enzimatis juga sering terjadi pada sayuran seperti kentang dan selada. Pada kentang, pencoklatan menyebabkan permukaan umbi menjadi gelap setelah dikupas atau dipotong, sehingga produk olahan seperti kentang goreng atau keripik menjadi kurang menarik. Pada selada, pencoklatan yang terjadi selama penyimpanan menyebabkan daun menjadi kecoklatan dan layu, sehingga menurunkan mutu visual dan tekstur. Upaya pengendalian pencoklatan enzimatis, seperti penggunaan antioksidan (misalnya asam askorbat) atau pengatur pH, sangat penting untuk menjaga mutu dan memperpanjang masa simpan produk pangan berbasis buah dan sayuran (Murata, 2020).

Reaksi pencoklatan ezimatis juga disebabkan oleh enzim polifenol oksidase yang mengoksidasi senyawa fenolik menjadi kuinon. Reaksi ini dapat dicegah dengan cara penambahan inhibitor enzim seperti asam sitrat dan asam askorbat.

Produk yang Rentan Mengalami Reaksi Pencoklatan Enzimatis

Reaksi ini umumnya terjadi pada buah-buahan dan sayuran, terutama pisang, apel, terong, dan lainnya.

Reaksi Pencoklatan Non-Enzimatis (Maillard)

Reaksi pencoklatan non-enzimatis, khususnya reaksi Maillard, merupakan interaksi kimia antara gula pereduksi dan asam amino atau protein yang terjadi selama pemrosesan atau penyimpanan pangan. Reaksi ini menghasilkan senyawa berwarna coklat (melanoidin) yang dapat mengubah warna, rasa, dan aroma produk pangan. Selain menyebabkan perubahan sensori, reaksi Maillard juga dapat menurunkan nilai gizi pangan, misalnya dengan membuat asam amino esensial seperti lisin menjadi tidak tersedia bagi tubuh (Kathuria *et al*., 2023).

Penurunan mutu pangan akibat reaksi Maillard sangat nyata pada produk berbasis susu dan sereal. Hasil mini review yang dilakukan oleh Rocchetti *et al*., 2023 menunjukkan bahwa pada produk olahan susu seperti keju, reaksi Maillard antara laktosa dan protein susu dapat menyebabkan perubahan warna keju menjadi kecoklatan atau bahkan pink. Perubahan warna ini sering kali menyebabkan penolakan konsumen dan kerugian ekonomi bagi produsen. Selain itu, pada produk sereal seperti roti dan biskuit, reaksi Maillard dapat menyebabkan permukaan produk menjadi terlalu gelap, rasa pahit, dan aroma gosong yang tidak diinginkan, sehingga menurunkan daya tarik dan mutu produk.

Studi kasus pada produk susu menunjukkan bahwa pencoklatan non-enzimatis tidak hanya mempengaruhi penampilan visual, tetapi juga dapat menurunkan kandungan zat gizi dan menyebabkan pembentukan senyawa yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, berbagai strategi telah dikembangkan untuk mengendalikan reaksi Maillard, seperti pengaturan suhu dan waktu pemrosesan, penggunaan zat aditif penghambat reaksi, serta pengembangan teknologi non-termal. Pengendalian reaksi ini sangat penting untuk menjaga mutu, keamanan, dan daya saing produk pangan di pasaran (Kathuria *et al*., 2023; Rocchetti *et al*., 2023).

Produk yang Rentan Mengalami Reaksi Pencoklatan Non Enzimatis

- **Reaksi yang diinginkan**

Warna coklat pada roti & penyangraian kopi

- **Reaksi yang tidak diinginkan**

Warna coklat hingga pink pada produk olahan susu

Reaksi Oksidasi

Reaksi oksidasi merupakan salah satu faktor utama penyebab penurunan mutu pangan, terutama pada produk yang kaya akan lemak tak jenuh seperti minyak nabati, daging, dan produk olahan susu. Oksidasi lemak menghasilkan senyawa volatil seperti aldehida, keton, dan asam lemak bebas yang menyebabkan off-flavor berupa bau tengik, perubahan warna, serta penurunan nilai gizi. Proses ini dapat terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu autooksidasi yang dipicu oleh radikal bebas seperti oksigen singlet, dan fotooksidasi yang dipercepat oleh paparan cahaya serta adanya senyawa fotosensitizer seperti klorofil. Kedua mekanisme ini menghasilkan hidroperoksida dan produk oksidasi sekunder yang mempercepat kerusakan pangan.

Sebagai contoh, pada minyak goreng dan margarin, autooksidasi menyebabkan pembentukan senyawa seperti hexanal dan propanal yang menjadi indikator awal kerusakan, sedangkan pada daging sapi dan ayam, oksidasi lemak dan protein menyebabkan perubahan warna menjadi kecoklatan, tekstur menjadi keras, serta munculnya bau tengik yang khas. Selain itu, produk olahan susu seperti susu bubuk juga rentan mengalami pencoklatan dan penurunan kandungan asam amino esensial akibat reaksi oksidasi selama penyimpanan. Oleh karena itu, pengendalian oksidasi melalui pengemasan kedap cahaya, penambahan antioksidan, dan pengaturan suhu sangat penting untuk menjaga mutu dan keamanan pangan (Domínguez *et al*., 2019; Hennebelle et al., 2024).

Selain lemak, oksidasi juga menyerang protein pada produk pangan, khususnya daging dan produk olahannya. Oksidasi protein menyebabkan perubahan struktur dan fungsi protein, seperti agregasi, karbonilasi, dan penurunan daya ikat air, yang berdampak pada tekstur, warna, dan nilai zat gizi produk. Pada daging, oksidasi protein dan lemak saling berkaitan dan mempercepat penurunan mutu sensori serta pembentukan senyawa toksik seperti aldehida reaktif yang berpotensi membahayakan kesehatan konsumen (Nawaz *et al*., 2022; Papuc *et al*., 2017) .

Produk yang Rentan Mengalami Reaksi Oksidasi

Kacang-kacangan

Biji-bijian

Produk mengandung minyak (umumnya yang digoreng)

Berbagai Contoh Mekanisme Kerusakan Pangan

Komponen utama yang terkandung dalam suatu pangan akan menentukan jenis mikroba yang dapat tumbuh pada pangan tersebut. Zat gizi yang terkandung dalam pangan ini akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya.

Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui mekanisme kerusakan pangan pada produk tinggi karbohidrat, protein, atau produk tinggi lemak, sehingga produsen dapat mengaplikasikan proses pengolahan yang efektif untuk dapat mencegah kerusakan tersebut.

a Mekanisme Kerusakan Produk Pangan Tinggi Karbohidrat

Beberapa reaksi biokimia yang dapat terjadi :

Fermentasi Alkohol

Reaksi biokimia oleh khamir yang memanfaatkan gula sebagai substratnya, menghasilkan alkohol dan karbondioksida. Proses reaksi ini **ada yang disengaja dan ada juga yang tidak**. Fermentasi alkohol yang tidak diharapkan sering terjadi pada minuman jus buah atau sirup (Maicas *et al*., 2020).

Fermentasi Asam Laktat

Fermentasi asam laktat juga ada yang disengaja dan ada yang tidak. Kerusakan pangan yang disebabkan oleh fermentasi asam laktat dapat terjadi pada produk *dairy*, sayuran dan roti (Sionek *et al*., 2023). Proses fermentasi ini berlangsung karena adanya bakteri asam laktat yang dapat mengubah gula menjadi asam laktat, menghasilkan rasa asam pada produk.

Reaksi kimia enzimatik seringkali terjadi pada produk tinggi karbohidrat berupa pati. Hidrolisis pati oleh enzim amilase dapat terjadi menghasilkan gula sederhana berupa glukosa, sehingga produk menjadi lebih manis.

Namun demikian reaksi hidrolisis ini dapat menyebabkan perubahan tekstur. Hal ini umumnya menjadi masalah pada produk roti dan sereal (Horstmann *et al*., 2017).

Produk tinggi karbohidrat seringkali juga disertai **kandungan lemak yang tinggi**, seperti produk kacang-kacangan, dan produk tinggi karbohidrat yang digoreng. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya proses oksidasi lipid sehingga menyebabkan terbentuknya senyawa-senyawa off-flavor (bau tengik).

Kandungan protein pada produk tinggi karbohidrat juga dapat memicu reaksi Maillard (reaksi pencoklatan non-enzimatis). Reaksi ini terjadi antara gula pereduksi dan asam amino dengan katalis panas, menyebabkan produk berwarna kecoklatan. Walaupun reaksi Maillard umumnya merupakan reaksi yang diinginkan pada proses pembuatan roti, namun reaksi ini tidak diinginkan selama proses penyimpanan produk.

Pertumbuhan **kapang** juga dapat terjadi pada produk tinggi gula. Umumnya **kapang akan tumbuh pada permukaan produk**. Namun demikian, **kapang ini dapat terus masuk ke dalam**, sehingga **kerusakan produk menjadi lebih besar**. Selain kebusukan, bahaya lain dari tumbuhnya kapang adalah **terbentuknya mikotoksin**. Beberapa jenis kapang dapat menghasilkan mikotoksin yang berbahaya bagi kesehatan manusia (El-Sayed *et al*., 2022)

b Mekanisme Kerusakan Produk Pangan Tinggi Protein

Produk pangan tinggi protein dapat mengalami beberapa kerusakan, baik akibat mikroba, reaksi kimia enzimatis maupun non-enzimatis, serta kerusakan akibat kontaminasi fisik. Umumnya bakteri dapat tumbuh dengan baik pada produk tinggi protein, seperti bakteri *Salmonella*, *Listeria*, *Psedomonas*, *Escherichia coli*, dan *Clostridium* (Karanth *et al*., 2023).

Bakteri memetabolisme protein dan zat gizi lain dengan sejumlah hasil samping seperti ammonia, hidrogen sulfida, asam organik, dan senyawa-senyawa off-flavor lainnya. Bakteri *Psedomonas spp* merupakan bakteri pembusuk yang hidup dalam kondisi aerob, dan menghasilkan lendir, sedangkan *Clostridium spp*. merupakan bakteri anaerob, menghasilkan gas serta toksin. Keduanya menyebabkan produk berbau busuk.

Selain bakteri, kapang dan khamir juga dapat tumbuh pada produk tinggi protein, menyebabkan kebusukan dan/atau menghasilkan mikotoksin yang berbahaya bagi kesehatan. *Aspergillus* dan *Penicillium* umumnya mengkontaminasi produk turunan susu, daging dan polong-polongan (Saini *et al*., 2021).

Reaksi kimia enzimatis juga dapat terjadi pada produk pangan tinggi protein. Enzim protease endogeneous atau yang berasal dari mikroorganisme dapat menghidrolisis protein menjadi peptide dan asam amino. Secara alami, enzim protease banyak terkandung dalam daging, ikan, dan produk turunan susu. Reaksi proteolisis ini dapat menghasilkan off-flavor serta perubahan tekstur produk menjadi lebih lunak.

Protein juga dapat mengalami reaksi dengan gula pereduksi yang terkandung dalam produk tersebut melalui reaksi Maillard, menghasilkan warna coklat yang tidak diinginkan, off-flavor, serta penurunan kandungan gizi, terutama asam amino lisin.

C Mekanisme Kerusakan Produk Pangan Tinggi Lemak

Produk pangan tinggi lemak sangat berpotensi mengalami kerusakan berupa ketengikan (*rancidity*).

Ketengikan ini dapat disebabkan oleh :

Reaksi Oksidasi

Dimulai dengan proses pembentukan radikal melalui abstraksi hidrogen dari lemak tidak jenuh akibat adanya panas, cahaya, oksigen atau logam. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksil, yang kemudian akan mengambil hidrogen dari asam lemak tidak jenuh lainnya, sehingga membentuk hidroperoksida. Reaksi ini terus berlanjut, dan akan berhenti ketika dua radikal saling bereaksi membentuk produk non-radikal. Hidroperoksida dapat terdekomposisi menjadi aldehid, keton, dan alkohol yang bertanggung jawab terhadap aroma tengik.

Reaksi Hidrolisis

Terjadi ketika enzim lipase menghidrolisis ikatan ester triasilgliserol menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Asam lemak rantai pendek seperti asam butirat merupakan asam organik dengan bau yang kuat, sehingga berkontribusi terhadap pembentukan off-flavor (Sharma & Kanwar *et al*., 2014). Asam lemak yang bebas ini juga dapat dengan mudah teroksidasi akibat adanya panas, cahaya, oksigen, ataupun logam sehingga menghasilkan bau tengik melalui reaksi radikal. Pada pangan tinggi lemak yang mengandung air, kandungan air juga dapat menyebabkan reaksi hidrolisis triasilgliserol menjadi griserol dan asam lemak bebas. Reaksi ini dikatalisis oleh suhu.

Produk pangan tinggi lemak dapat ditumbuhi oleh bakteri pembusuk serta kapang. Mikroorganisme ini dapat memproduksi enzim lipase, sehingga proses ketengikan dapat terjadi melalui reaksi oksidasi enzimatik.

d Mekanisme Kerusakan Produk Pangan Tinggi Serat

Beberapa bakteri dapat merusak pangan tinggi serat :

Psedomonas spp dan *Bacilus spp*

Bakteri ini dapat melunakkan tekstur sayuran melalui reaksi enzimatis serta menghasilkan *off-odor* (Li *et al*., 2023)

Saccharomyces cerevisiae dan *Candida spp*

Khamir yang menyebabkan proses fermentasi pada buah dan sayuran

Aspergillus dan *Penicillium*

Kapang yang dapat tumbuh pada buah, sayuran, serta biji-bijian dan dapat menghasilkan mikotoksin.

Reaksi hidrolisis juga dapat terjadi pada karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana, menyebabkan perubahan pada tekstur dan rasa. Reaksi ini terutama terjadi pada produk biji-bijian atau polong-polongan.

e Mekanisme Kerusakan Produk Pangan Tinggi Vitamin

Peran enzim dalam degradasi vitamin :

- Enzim lipoksigenase dapat mengkatalisis reaksi oksidasi lemak, mengakibatkan vitamin larut lemak dapat mengalami degradasi
- Enzim askorbat oksidase dapat mengoksidasi vitamin C
- Enzim tiaminase dapat mengdegradasi vitamin B1

Selain itu, paparan oksigen juga dapat menyebabkan reaksi oksidasi pada vitamin C, vitamin A, dan vitamin E.

Dikatalisis oleh cahaya dan panas.

Kerusakan ini menyebabkan vitamin kehilangan aktivitasnya

Kinetika Reaksi

Selama penyimpanan, pangan mengalami berbagai reaksi kimia, biokimia, dan fisik yang memengaruhi mutu dan masa simpannya. Kinetika reaksi dalam sistem pangan mempelajari laju perubahan komponen pangan akibat reaksi-reaksi tersebut. Banyak reaksi degradasi pada pangan, seperti kerusakan vitamin, perubahan warna, dan pembentukan senyawa off-flavor, mengikuti model kinetika orde nol atau orde satu. Misalnya, degradasi asam askorbat (vitamin C) dalam berbagai produk pangan umumnya mengikuti kinetika orde satu, di mana laju reaksi sebanding dengan konsentrasi asam askorbat yang tersisa.

Selain itu, reaksi-reaksi seperti pencoklatan non-enzimatis (reaksi Maillard) dan pembentukan hidroksimetilfurfural (HMF) pada produk berbasis buah dan sayur juga telah dikaji kinetikanya. Pada beberapa kasus, reaksi pencoklatan dan pembentukan HMF mengikuti kinetika orde nol, di mana laju reaksi konstan dan tidak bergantung pada konsentrasi substrat. Faktor-faktor seperti suhu dan kadar air sangat memengaruhi laju reaksi ini, dan hubungan antara suhu dengan konstanta laju reaksi seringkali dapat dijelaskan menggunakan persamaan Arrhenius.

Kinetika reaksi dalam pangan juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama penyimpanan, seperti suhu dan kelembapan. Model kinetika yang fleksibel, seperti model eksponensial dua parameter, dapat digunakan untuk menggambarkan variasi konstanta laju reaksi akibat perubahan suhu dan kadar air. Model ini memungkinkan prediksi perubahan mutu pangan secara lebih akurat selama penyimpanan dinamis, di mana suhu dan kelembapan dapat berubah-ubah. Suatu reaksi kimia dapat berjalan secara spontan, namun belum tentu reaksinya cepat. Oleh karena itu diperlukan pemahaman mengenai faktor-faktor apa saja yang dapat mempercepat suatu reaksi. Adapun Ilmu kimia yang mempelajari tentang kecepatan suatu reaksi dinamakan kinetika kimia.

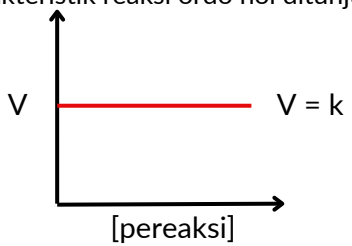
Kecepatan reaksi dinyatakan sebagai perbandingan dari perubahan konsentrasi pereaksi terhadap waktu. Pada umumnya, konsentrasi pereaksi dan suhu memegang peranan penting dalam menentukan kecepatan reaksi kimia. Dalam sistem pangan, makromolekul seperti karbohidrat, protein dan lemak merupakan ‘pereaksi’ yang terlibat dalam reaksi kerusakan pangan. Makromeolekul ini akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme yang mengkontaminasi pangan sebagai substratnya. Semakin banyak jumlah makromolekul yang tersedia, semakin cepat pertumbuhan mikroorganisme, yang pada akhirnya semakin cepat pula reaksi kerusakan pangan yang terjadi.

Jenis-jenis Orde Reaksi

Konsentrasi reaktan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Berdasarkan pengaruh dari konsentrasi reaktan, jenis reaksi dibagi menjadi **tiga kelompok**, yaitu:

Reaksi Orde Nol

Pada reaksi ini penambahan konsentrasi reaktan tidak mempengaruhi laju reaksi. Secara visual, karakteristik reaksi ordo nol ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Reaksi Ordo Nol

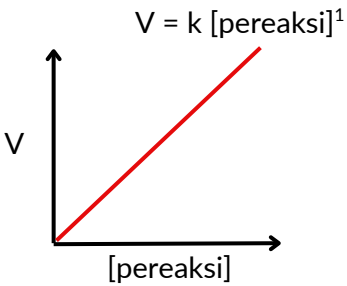
Secara matematis, grafik konsentrasi terhadap waktu membentuk garis lurus. Pada reaksi ini, waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan sejumlah tertentu zat selalu sama, terlepas dari konsentrasi awal. Reaksi ordo nol sering terjadi pada kondisi di mana faktor eksternal seperti ketersediaan oksigen, permukaan katalis, atau saturasi enzim menjadi faktor pembatas, bukan konsentrasi zat yang bereaksi.

Dalam banyak kasus, perubahan warna, tekstur, dan nilai peroksida (indikator ketengikan) pada produk pangan seperti kelapa kering, serta penurunan mutu fisik seperti kehilangan berat dan perubahan warna pada buah dan sayur, mengikuti model kinetika ordo nol. Artinya, penurunan mutu berlangsung secara konstan selama penyimpanan, sehingga prediksi masa simpan dapat dilakukan dengan mengukur laju perubahan parameter mutu tersebut (Choosuk, *et al*., 2022; Zhang *et al*., 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ovissipour *et al*., (2017) menunjukkan bahwa perubahan warna terjadi pada produk ikan olahan seperti salmon selama pemrosesan termal. Faktor utama yang mempengaruhi laju reaksi ini adalah ketersediaan enzim, suhu, dan adanya hambatan difusi. Jika permukaan katalis atau enzim sudah jenuh oleh substrat, laju reaksi akan tetap konstan meskipun konsentrasi substrat bertambah. Selain itu, suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju reaksi ordo nol, sedangkan hambatan difusi dapat menurunkan efektivitas reaksi.

Reaksi Orde Satu

Pada reaksi ini, penambahan konsentrasi reaktan sebanding dengan peningkatan laju reaksi



Gambar 8. Grafik Reaksi Ordo Satu

Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi orde satu meliputi suhu (semakin tinggi suhu, laju reaksi meningkat), konsentrasi reaktan, dan keberadaan katalis. Selain itu, difusi substrat ke dalam sistem juga dapat mempengaruhi laju reaksi. Jika difusi substrat terbatas, laju reaksi bisa menurun meskipun konsentrasi reaktan masih tinggi. Karakteristik laju reaksi orde satu divisualisasikan melalui grafik pada **Gambar 8**.

Secara matematis, penurunan konsentrasi mengikuti persamaan eksponensial. Selain itu, waktu paruh (half-life) reaksi ordo satu bersifat konstan, tidak bergantung pada konsentrasi awal, sehingga memudahkan prediksi sisa kandungan zat gizi atau mutu selama penyimpanan.

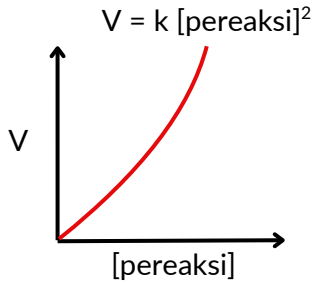
Contoh Reaksi Ordo Satu pada Penurunan Mutu Pangan

Beberapa reaksi penurunan mutu pangan yang umum mengikuti pola kinetika ordo satu antara lain:

- Degradasi vitamin C (asam askorbat) pada jus buah, sayuran, dan produk olahan lainnya selama penyimpanan dan pemanasan. Penurunan kadar vitamin C ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu penyimpanan (Soceanu *et al*., 2020).
- Perubahan warna pada tomat selama pemrosesan termal, di mana perubahan intensitas warna merah sering mengikuti model ordo satu (Badin *et al*., 2021).
- Degradasi beta-karoten pada produk pangan yang dikeringkan, seperti wortel atau mangga kering, juga sering mengikuti kinetika ordo satu, terutama pada konsentrasi awal yang tidak terlalu tinggi (Stefanovich & Karel, 1982).
- Perubahan mutu nugget selama penyimpanan, terutama pada suhu beku, umumnya mengikuti kinetika orde satu untuk parameter utama seperti oksidasi lemak, pertumbuhan mikroba, dan perubahan fisik. Model ini banyak digunakan untuk memprediksi masa simpan nugget secara ilmiah (Nawarathne *et al*., 2021).

Reaksi Orde Dua

Pada reaksi ini, penambahan konsentrasi reaktan sebanding dengan kuadrat laju reaksi, sehingga grafik berbentuk parabola. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Reaksi Ordo Dua

Reaksi ordo dua adalah reaksi di mana laju reaksi bergantung pada hasil kali konsentrasi dua reaktan (misal A + B → produk) atau kuadrat konsentrasi satu reaktan (misal 2A → produk). Laju reaksi sejalan dengan hasil kali konsentrasi dua reaktan ([A][B]) atau kuadrat satu reaktan ([A]^2).

Reaksi ini sering ditemukan pada reaksi bimolekuler dalam sistem pangan, seperti reaksi antara dua senyawa antioksidan atau reaksi pengikatan ion. Kinetika reaksi ordo dua lebih jarang ditemukan, namun dapat terjadi pada reaksi yang melibatkan dua komponen reaktan yang saling berinteraksi, seperti reaksi antara dua senyawa antioksidan atau reaksi pengikatan ion dalam produk olahan susu dan keju. Dalam beberapa penelitian, perubahan konsentrasi mineral tertentu pada keju selama penyimpanan dapat dijelaskan dengan model kinetika ordo dua, di mana laju reaksi bergantung pada hasil kali konsentrasi dua reaktan yang terlibat.

Faktor yang mempengaruhi meliputi konsentrasi kedua reaktan, suhu, dan kemungkinan adanya fluktuasi pada koefisien laju reaksi akibat perubahan lingkungan atau kondisi sistem. Fluktuasi atau perubahan acak pada laju reaksi dapat menyebabkan perbedaan signifikan pada hasil akhir reaksi, terutama pada sistem yang tidak stabil atau dipengaruhi oleh kondisi lingkungan

Pemahaman tentang model kinetika reaksi ini sangat penting dalam industri pangan untuk memprediksi perubahan mutu, menentukan masa simpan, dan mengoptimalkan kondisi penyimpanan. Dengan memilih model kinetika yang sesuai, produsen dapat memperkirakan kapan produk tidak lagi layak konsumsi dan mengambil langkah-langkah untuk memperpanjang masa simpan serta menjaga mutu pangan selama distribusi dan penyimpanan.

Secara umum, ketika konsentrasi pereaksi dinaikkan menjadi dua kali lipatnya, laju reaksi juga naik dua kali lipat.

Reaksi Ordo Nol

Reaksi yang lajunya tidak dipengaruhi oleh penambahan konsentrasi

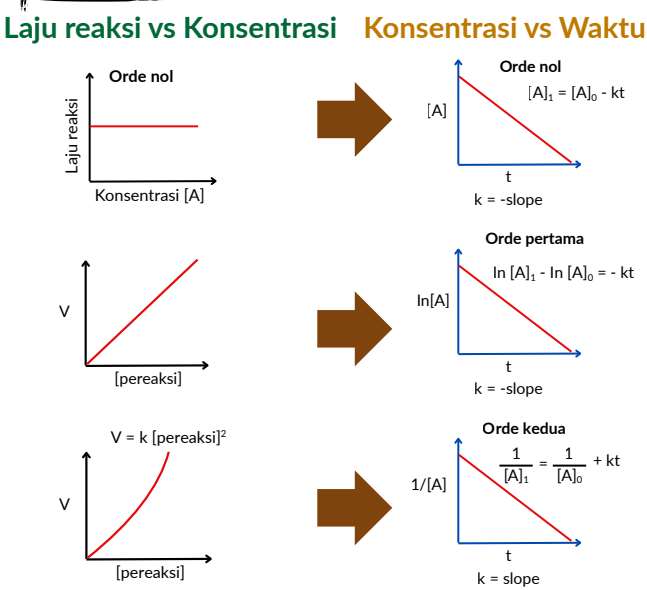
Reaksi Ordo Satu

Penambahan konsentrasi pereaksi sebanding dengan peningkatan laju reaksi

Reaksi Ordo Dua

Peningkatan konsentrasi pereaksi terhadap laju reaksi membentuk garis parabola

Untuk mempermudah identifikasi orde reaksi, grafik hubungan laju reaksi dengan konsentrasi dapat diubah menjadi grafik hubungan antara konsentrasi pereaksi terhadap waktu, sehingga grafik akan berbentuk linier, yang dapat dilihat pada Gambar 10.



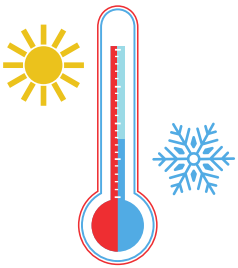
Penentuan Orde Reaksi:

Orde yang dipilih untuk menggambarkan reaksi yang terjadi adalah **orde reaksi yang memiliki grafik dengan regresi (R^2) yang paling tinggi.**

Gambar 10. Grafik hubungan laju reaksi terhadap konsentrasi serta konsentrasi terhadap waktu pada reaksi orde nol, orde satu, dan orde dua

Selain konsentrasi substrat, suhu memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan kecepatan reaksi. Semakin tinggi suhu, semakin cepat laju suatu reaksi. Konsep ini berlaku hampir pada semua jenis reaksi. Secara umum, kenaikan suhu sebesar 10°C akan meningkatkan laju reaksi sebanyak dua atau tiga kali lebih cepat. Hal ini disebabkan suhu yang tinggi membuat molekul-molekul bergerak lebih cepat dan memungkinkan untuk saling bertumbukan dengan lebih efektif.

Agar reaksi dapat berlangsung, molekul-molekul harus bertumbukan satu sama lain dengan energi yang lebih besar dari energi minimum yang ada, dan dengan orientasi yang tepat. **Energi minimum tumbukan yang diperlukan oleh molekul-molekul untuk dapat bereaksi disebut dengan energi aktivasi (Ea). Jika Ea dapat terlampaui, maka reaksi dapat terjadi. Oleh karena itu, semakin tinggi Ea, semakin sulit molekul tersebut untuk bereaksi.**



Sebaliknya, **semakin kecil energi aktivasi, semakin mudah reaksi tersebut terjadi**. Namun demikian, peningkatan suhu reaksi dapat menyebabkan molekul yang bertumbukan mempunyai energi yang lebih tinggi dari Ea, sehingga dapat mengubah laju reaksi secara cepat pada perubahan suhu yang relatif kecil. Selain dengan suhu, Ea dapat diturunkan dengan penambahan katalis.

Laju reaksi pada suhu yang berbeda akan memiliki tetapan laju yang berbeda pula. **Persamaan Arrhenius menunjukkan kebergantungan tetapan laju (K) terhadap suhu,** dengan rumus matematis sebagai berikut:

$$K = A\, e^{-Ea/RT}$$

Dimana :

A : faktor frekuensi
e : eksponensial
Ea : energi aktivasi
R : tetapan gas (8,31 j/mol K)
T : suhu

Frekuensi yang dimaksud adalah frekuensi tumbukan suatu molekul yang berorientasi secara tepat, sehingga tumbukan tersebut dapat menimbulkan reaksi.

Dengan mengganti eksponensial dengan logaritma, maka persamaan tersebut akan membentuk persamaan linier, yaitu :

ln k = ln A – Ea/RT - - - - > persamaan linier y = a – bx
ln k = y
ln A = a
1/T = x
Ea/R = b (kemiringan)

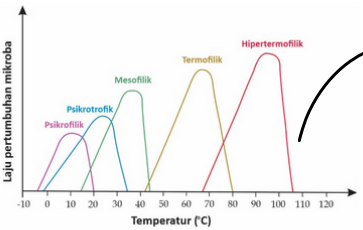
Jika **ln k** dihubungkan dalam bentuk grafik terhadap **1/T**, maka akan menghasilkan garis lurus dengan kemiringan sebesar **Ea/R**. Oleh karena itu, persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung tetapan laju maupun energi aktivasi pada suhu yang berbeda (Sunarya, 2000).

Konsep Pengaruh Suhu Terhadap nilai "k"

Nilai **k adalah konstanta laju reaksi yang menunjukkan seberapa cepat reaksi penurunan mutu pangan berlangsung**. Secara umum, semakin tinggi suhu, semakin besar nilai k, artinya reaksi penurunan mutu (misal: degradasi vitamin, warna, atau senyawa bioaktif) berlangsung lebih cepat. Hubungan antara suhu dan k biasanya mengikuti persamaan Arrhenius, di mana kenaikan suhu akan meningkatkan energi kinetik partikel, sehingga lebih banyak partikel yang memiliki energi cukup untuk melewati energi aktivasi reaksi.

Bukti dari Studi Ilmiah
Penelitian pada selai stroberi menunjukkan bahwa nilai k untuk degradasi antosianin dan asam askorbat meningkat saat suhu penyimpanan naik dari 4°C ke 15°C. Misalnya, k untuk antosianin naik dari $0{,}95\times10^{-2}$ $hari^{-1}$ (4°C) menjadi $1{,}71\times10^{-2}$ $hari^{-1}$ (15°C), dan k untuk asam askorbat naik dari $2{,}08\times10^{-2}$ $hari^{-1}$ menjadi $4{,}54\times10^{-2}$ $hari^{-1}$. Ini membuktikan bahwa suhu lebih tinggi mempercepat penurunan mutu pangan (Patras *et al*., 2011).

Suhu dan pertumbuhan mikroba



Gambar 11. Grafik laju pertumbuhan berbagai jenis mikroba

(Gambar ulang dari Prescott, *et al*., 2005)

Pada Gambar 11 ini secara umum mengilustrasikan bagaimana laju pertumbuhan berbagai kelompok mikroba dipengaruhi oleh suhu, yang secara langsung berkaitan dengan kecepatan penurunan mutu pangan dan penentuan masa simpan.

Dengan memahami suhu optimum dan kisaran toleransi pertumbuhan mikroba penyebab pembusukan, produsen pangan dapat menetapkan kondisi penyimpanan yang tepat – seperti pendinginan atau pembekuan untuk menekan pertumbuhan psikrofilik dan psikrotrofik, atau pemanasan tinggi untuk mengeliminasi mesofilik dan termofilik – guna memperlambat laju kerusakan dan memperpanjang masa simpan produk pangan.

Dalam hubungannya dengan mikroorganisme, **suhu dapat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroba.** Umumnya, mikroba tumbuh dengan baik pada suhu 5-60 °C. Zona ini disebut sebagai "***danger zone***".

Oleh karena itu, penyimpanan pangan resiko tinggi pada zona ini dapat mempercepat pertumbuhan mikroba. Untuk mencegah hal ini, penyimpanan suhu dingin atau penerapan teknologi *hurdle* (kombinasi pengawetan pangan) dapat diterapkan.

Penyimpanan pada suhu rendah secara efektif memperlambat laju reaksi penurunan mutu pangan dengan cara **menekan laju respirasi, aktivitas enzim, dan pertumbuhan mikroorganisme,** sehingga reaksi-reaksi perusakan seperti degradasi zat gizi, perubahan tekstur, dan pembentukan senyawa penyebab kerusakan dapat dihambat, misalnya, pada buah dan sayuran, suhu sub-nol mampu menghambat reaksi respirasi dan pertumbuhan patogen tanpa menyebabkan kerusakan akibat suhu dingin (Liu *et al*., 2020). Dengan demikian, penyimpanan suhu rendah menjadi strategi utama untuk memperlambat reaksi penurunan mutu dan memperpanjang masa simpan pangan.

Mutu pangan bukan sekadar soal enak atau tidak—ia adalah cerminan dari keamanan, kesegaran, dan ketahanan produk yang kita konsumsi setiap hari. Memahaminya tidak cukup hanya dengan indera, tetapi juga dengan pengetahuan tentang berbagai reaksi kerusakan dan kinetika perubahan yang terjadi selama penyimpanan. Reaksi kimia, mikrobiologis, dan fisik yang berlangsung secara bertahap menjadi indikator penting dalam menentukan mutu pangan seiring waktu penyimpanan.

Dengan pengetahuan ini, kita dapat mengenali tanda-tanda awal penurunan mutu, serta melakukan upaya yang tepat untuk memperlambat degradasi dan mempertahankan mutu pangan hingga sampai ke tangan konsumen. Inilah bentuk nyata dari pengelolaan mutu yang berbasis ilmu pengetahuan dan tanggung jawab.

Metode Pengujian Masa Simpan

"Mengetahui berbagai metode pengujian masa simpan serta kemampuan memilih metode yang tepat sangat penting untuk memastikan hasil pengujian yang akurat, sehingga keamanan, mutu, dan stabilitas pangan dapat terjamin sepanjang masa simpan produk"

Langit pagi di Jakarta tampak mendung ketika Roni melangkah memasuki laboratorium perusahaan makanan tempatnya bekerja. Aroma khas bahan makanan dan suara mesin-mesin laboratorium menyambutnya, namun pikirannya tengah dipenuhi oleh kebingungan yang mengganggu. Sebagai analis mutu di perusahaan yang memproduksi snack ringan dalam kemasan, Roni baru saja menyelesaikan pengujian masa simpan produk terbaru mereka menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT). Dalam pengujian ini, sampel produk disimpan pada suhu ruang yang berbeda, yaitu 25°C, 35°C, dan 45°C, untuk mempercepat proses penurunan mutu dan memprediksi masa simpan produk.

Namun, hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan penurunan mutu yang tidak konsisten dan sulit dijelaskan. Tekstur renyah yang seharusnya menjadi ciri khas produk justru hilang sebelum waktu yang diperkirakan. Data kecepatan perubahan mutu yang diperoleh tidak mampu menggambarkan prediksi waktu masa simpan dengan baik. Roni mulai meragukan keandalan metode ASLT untuk produk kering seperti snack. Ia teringat akan konsep kadar air kritis, di mana perubahan kecil dalam kadar air dapat mempengaruhi tekstur dan mutu produk secara signifikan. Namun, ia belum pernah menerapkan metode ini sebelumnya dan merasa ragu apakah pendekatan tersebut akan memberikan hasil yang lebih akurat.

Dalam keraguan, Roni memutuskan untuk mencari literatur dan studi kasus yang relevan. Ia menemukan bahwa metode kadar air kritis telah berhasil digunakan untuk memperkirakan masa simpan produk pangan renyah seperti keripik kentang dan mie kering, dengan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode ASLT. Pendekatan ini melibatkan penentuan kadar air kritis, yaitu kadar air di mana produk mulai kehilangan kerenyahannya dan tidak lagi diterima oleh konsumen secara mutu sensori. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti kadar air awal, kadar air kesetimbangan, kelembaban relatif, dan jenis kemasan yang digunakan.

Setelah hasil pengujian *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) menunjukkan ketidakakuratan dalam memprediksi masa simpan snack ringan, Roni merasa perlu mencari pendekatan lain. Namun, waktu terus berjalan, dan manajemen perusahaan menuntut kepastian mengenai masa simpan produk untuk keperluan peluncuran ke pasar. Roni mengusulkan kepada timnya untuk melakukan pengujian menggunakan metode kadar air kritis, yang lebih sesuai untuk produk kering seperti snack.

Namun, beberapa anggota tim meragukan efektivitas metode ini, mengingat mereka belum pernah menggunakan dalam proyek-proyek sebelumnya. Mereka khawatir bahwa pendekatan kadar air kritis terlalu rumit, memerlukan sumber daya tambahan, dan hasilnya belum tentu dapat diinterpretasikan dengan mudah. Diskusi internal pun berlangsung alot, dengan berbagai pendapat, kekhawatiran, dan bahkan keraguan terhadap kompetensi teknis yang dibutuhkan untuk mengadopsi metode baru. Sebagian mempertanyakan urgensinya, sementara yang lain merasa ragu untuk keluar dari zona nyaman metode yang selama ini mereka gunakan. Roni menyadari bahwa ini bukan sekadar tentang metode, tetapi juga soal perubahan cara berpikir dan keberanian mencoba hal baru.

Untuk meyakinkan tim dan manajemen, Roni mengumpulkan berbagai literatur dan studi kasus yang mendukung penggunaan metode kadar air kritis untuk produk kering. Ia juga menghubungi beberapa ahli di bidang teknologi pangan untuk mendapatkan masukan dan saran. Dengan informasi dan dukungan yang diperoleh, Roni berhasil meyakinkan tim dan manajemen untuk mencoba pendekatan baru ini. Implementasi metode kadar air kritis bukan tanpa tantangan. Roni dan timnya harus melakukan kalibrasi ulang peralatan, menetapkan kadar air kritis yang tepat, dan memastikan kondisi penyimpanan yang sesuai. Selain itu, mereka juga harus menyesuaikan prosedur pengujian dan analisis data agar sesuai dengan metode baru ini.

Untuk memvalidasi hasil prediksi masa simpan yang diperoleh dari metode kadar air kritis, Roni memutuskan untuk melakukan pengujian sensori secara paralel. Meskipun metode ini membutuhkan waktu yang lebih panjang dan biaya yang lebih besar, Roni yakin bahwa validasi ini penting untuk memastikan keakuratan prediksi. Selama beberapa bulan, tim melakukan pengujian sensori terhadap sampel produk yang disimpan dalam kondisi normal. Hasilnya menunjukkan bahwa prediksi masa simpan yang diperoleh dari metode kadar air kritis sangat mendekati hasil pengujian sensori, dengan perbedaan yang tidak signifikan.

Pengalaman ini memberikan pelajaran berharga bagi Roni dan timnya. Mereka menyadari pentingnya memahami karakteristik produk secara mendalam sebelum memilih metode pengujian masa simpan. Studi literatur, konsultasi dengan ahli, dan validasi hasil pengujian menjadi langkah-langkah krusial dalam memastikan mutu dan keawetan produk. Dengan pendekatan yang lebih tepat, perusahaan kini dapat memastikan bahwa snack ringan yang mereka produksi tidak hanya lezat, tetapi juga memiliki masa simpan yang sesuai dengan harapan konsumen.

Berbagai Metode Pengujian

Masa simpan, atau *shelf life*, adalah jangka waktu di mana sebuah produk pangan masih aman dan layak dikonsumsi setelah diproduksi dan dikemas. Namun, menentukan masa simpan bukanlah perkara sederhana. Tidak cukup hanya melihat apakah warna atau rasa makanan masih sama, penilaian juga harus mempertimbangkan apakah konsumen masih menerima produk tersebut, serta memperhatikan aturan pemerintah, kebiasaan budaya, dan kondisi ekonomi yang berbeda di setiap negara. Inilah sebabnya mengapa pengujian masa simpan menjadi konsep yang sangat kontekstual dan tidak bisa diseragamkan secara mutlak di seluruh dunia.

Salah satu tantangan terbesar dalam menentukan masa simpan adalah menetapkan batas kapan sebuah produk sudah tidak lagi "diterima" oleh konsumen. Banyak penelitian hanya berfokus pada stabilitas produk, seperti seberapa cepat produk mengalami oksidasi atau pertumbuhan mikroba, tanpa secara jelas menentukan titik di mana konsumen mulai menolak produk tersebut. Padahal, aspek penerimaan ini sangat penting untuk memastikan produk tidak hanya aman, tetapi juga tetap memiliki mutu sensori yang baik dan dapat diterima selama masa penyimpanan.

Pengujian masa simpan secara konvensional biasanya memakan waktu lama dan biaya yang tidak sedikit, apalagi untuk produk yang masa simpannya panjang. Untuk menghemat waktu, banyak produsen menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT), yang mempercepat proses kerusakan dengan menaikkan suhu atau menciptakan kondisi ekstrem lainnya. Namun, metode ini juga punya keterbatasan, kadang hasilnya tidak mencerminkan kondisi sebenarnya saat produk disimpan dalam suhu normal. Bahkan, bisa saja muncul reaksi kimia atau fisik yang tidak akan terjadi dalam kondisi penyimpanan biasa.

Challenge Tantangan lain muncul dalam hal memilih indikator kerusakan yang tepat. Setiap produk pangan punya karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Indikator yang relevan untuk kopi, seperti oksidasi dan hilangnya aroma belum tentu cocok digunakan untuk daging, yang lebih rentan terhadap pertumbuhan mikroba. Artinya, **tidak ada satu rumus ataupun metode yang berlaku untuk semua produk.**

Label masa simpan yang tertera pada kemasan biasanya ditentukan dengan asumsi bahwa produk disimpan dalam kondisi ideal. Namun kenyataannya, selama distribusi hingga sampai ke tangan konsumen, produk bisa mengalami variasi suhu, kelembapan, atau perlakuan lain yang bisa mempercepat kerusakan. Jika tidak diperhitungkan dengan baik, hal ini bisa menyebabkan dua risiko: produk dibuang terlalu cepat padahal masih layak konsumsi, atau justru dikonsumsi saat sudah tidak aman.

Selain itu, pengujian masa simpan seringkali belum memperhitungkan perubahan sensori secara menyeluruh. Padahal, rasa, aroma, dan tekstur adalah hal pertama yang dirasakan konsumen, dan sering menjadi alasan utama mereka menolak suatu produk. Pendekatan multivariat dengan melihat semua aspek sensori secara bersamaan dan survival analysis bisa membantu memperkirakan masa simpan dengan lebih akurat berdasarkan tingkat penolakan konsumen.

Kabar baiknya, perkembangan teknologi analitik dan pemodelan prediktif kini membuka peluang baru. Penggunaan sensor, data *real-time*, dan model kinetika reaksi memungkinkan produsen memantau dan memprediksi perubahan mutu produk secara lebih presisi. Bahkan, teknologi seperti *machine learning* mulai digunakan untuk mengolah data historis dan memperkirakan masa simpan secara dinamis. Meski begitu, penggunaan teknologi ini masih terbatas, terutama pada industri kecil, dan perlu validasi lebih lanjut sebelum bisa digunakan secara luas.

Di sisi lain, masih ada jarak antara data ilmiah dan persepsi konsumen. Tidak jarang, masa simpan ditentukan hanya berdasarkan kebiasaan atau intuisi, bukan data yang benar-benar objektif. Akibatnya, bisa terjadi perbedaan antara tanggal kedaluwarsa yang tertera dengan kondisi aktual produk di lapangan. **Perlu diingat juga bahwa setiap perubahan dalam formulasi produk, proses produksi, atau jenis kemasan bisa memengaruhi masa simpan.** Oleh karena itu, produsen harus melakukan uji ulang setiap kali ada modifikasi, yang tentu saja menambah biaya dan waktu. Dalam konteks ini, pengujian berkala dan *challenge test* menjadi penting untuk memastikan mutu dan keamanan produk sepanjang proses distribusi dan penyimpanan.

Faktor mikrobiologi pun tidak bisa diabaikan, terutama untuk produk segar dan mudah rusak. Saat ini, model prediktif mikrobiologi juga telah digunakan untuk memperkirakan pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan. Namun, model ini juga punya keterbatasan, terutama dalam mencerminkan kondisi nyata distribusi dan konsumsi yang tidak selalu ideal.

Pada akhirnya, pengujian masa simpan yang benar-benar komprehensif memerlukan pendekatan multidisiplin dengan menggabungkan ilmu kimia, mikrobiologi, sensori, teknologi pangan, dan analisis risiko. Untuk menghasilkan standar pengujian yang ilmiah dan relevan, diperlukan kerja sama erat antara peneliti, pelaku industri, regulator, dan tentu saja, konsumen. Hanya dengan cara inilah kita bisa memastikan bahwa produk yang sampai di meja makan benar-benar aman, bermutu tinggi, dan diterima dengan baik.

Perkembangan Pilihan Metode

Berbagai metode pengujian masa simpan produk pangan berkembang sebagai respon atas tantangan yang dihadapi dalam memastikan keamanan, mutu, dan penerimaan produk selama distribusi dan penyimpanan. Tantangan utama yang dihadapi adalah ketidakmampuan metode konvensional untuk merepresentasikan kondisi nyata penyimpanan, serta lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh data masa simpan secara *real-time*. Selain itu, variabilitas lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan perlakuan selama distribusi dapat mempercepat kerusakan produk, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih adaptif dan efisien.

Untuk menjawab tantangan tersebut, para peneliti dan praktisi industri mulai mengandalkan metode yang lebih cepat dan efisien. Salah satu yang populer adalah *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT), yaitu teknik yang mensimulasikan kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi untuk mempercepat proses kerusakan, sehingga masa simpan produk bisa diprediksi dalam waktu lebih singkat. Selain itu, perkembangan teknologi seperti model prediktif dan sensor *real-time* memberikan cara baru untuk memantau mutu produk secara langsung. Bahkan, alat seperti *electronic nose* (E-nose) memungkinkan pengujian yang cepat dan tidak merusak produk, sekaligus memberikan hasil yang lebih objektif dan presisi.

Dengan semakin banyaknya pilihan metode, produsen kini dapat menyesuaikan pendekatan pengujian masa simpan berdasarkan karakteristik produknya masing-masing. Kombinasi antara metode tradisional, model matematis, dan teknologi modern seperti sensor pintar memberikan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi. Selain membantu menjaga mutu produk, pendekatan ini juga berkontribusi dalam mengurangi limbah makanan dan menjaga kepercayaan konsumen terhadap keamanan pangan.

Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)

Metode akselerasi dapat digunakan untuk mempercepat penentuan masa simpan produk, dimana dilakukan dengan menyimpan produk dalam lingkungan yang ekstrim sehingga produk cepat rusak, baik kondisi suhu atau kelembaban relatif ruang penyimpanan yang tinggi (Ayu *et al*., 2023). Penentuan masa simpan produk dengan metode akselerasi dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan kadar air kritis dan pendekatan semi empiris menggunakan persamaan arrhenius. Kedua pendekatan ini digunakan untuk mempercepat estimasi masa simpan dengan memanfaatkan kondisi lingkungan tertentu dan model matematika.

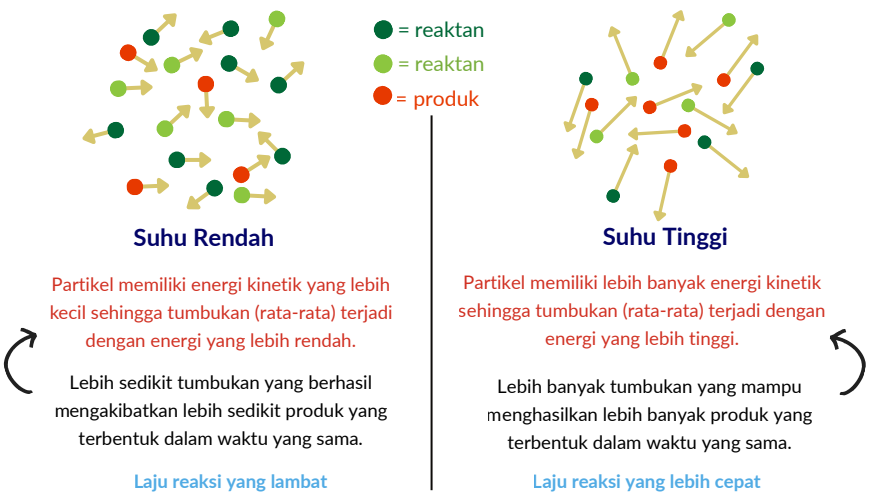
- **Pendekatan Arrhenius:** Menggunakan suhu tinggi untuk mempercepat reaksi kerusakan (seperti oksidasi atau degradasi), lalu memodelkan laju reaksi tersebut dengan persamaan Arrhenius. Ini memungkinkan prediksi masa simpan pada suhu penyimpanan normal berdasarkan data dari suhu tinggi.

- **Pendekatan Kadar Air Kritis:** Menentukan titik kadar air di mana produk mulai mengalami kerusakan signifikan. Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan mutu pada kadar air tertentu, lalu digunakan untuk memperkirakan masa simpan pada kondisi kelembapan tertentu.

Kedua metode ini sangat cocok untuk produk kering atau olahan yang sensitif terhadap kelembapan dan suhu, serta dapat mempercepat proses estimasi masa simpan dibandingkan uji penyimpanan langsung. Namun, hasilnya tetap perlu divalidasi agar sesuai dengan kondisi nyata penyimpanan produk.

Pengujian masa simpan pangan dengan persamaan Arrhenius biasanya digunakan untuk produk yang mudah rusak akibat reaksi kimia seperti oksidasi, reaksi Maillard, dan denaturasi protein. Persamaan Arrhenius dapat menggambarkan hubungan antara perubahan mutu produk dengan suhu penyimpanan, sehingga memudahkan prediksi percepatan kerusakan saat produk disimpan pada suhu yang lebih tinggi. Peningkatan suhu akan pertumbuhan mikroba, sehingga mutu pangan menurun lebih cepat, contohnya pada susu, di mana paparan suhu ruang selama beberapa jam dapat mengurangi umur simpan harian secara signifikan, serta pada salad segar dan daging, di mana suhu tinggi mempercepat pertumbuhan bakteri yang berdampak pada penurunan mutu sensori.

Peningkatan suhu juga dapat mempercepat laju reaksi kerusakan pangan karena sesuai prinsip tumbukan Arrhenius, semakin tinggi suhu, semakin banyak molekul yang memiliki energi cukup untuk melewati energi aktivasi reaksi kimia. Pada suhu yang lebih tinggi, frekuensi dan energi tumbukan antar molekul meningkat, sehingga peluang terjadinya reaksi kerusakan seperti oksidasi, pencoklatan, atau denaturasi protein juga meningkat. Secara matematis, persamaan Arrhenius menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi meningkat secara eksponensial terhadap kenaikan suhu, sehingga reaksi-reaksi perusak mutu pangan berlangsung jauh lebih cepat pada suhu tinggi. Reaksi ini dapat diilustrasikan pada **Gambar 12**. Hal ini menjelaskan mengapa penyimpanan pada suhu rendah dapat memperlambat kerusakan mutu, sedangkan penyimpanan pada suhu tinggi mempercepat penurunan mutu pangan.



Gambar 12. Pengaruh suhu terhadap energi kinetik partikel dan laju reaksi.
Sumber: Gambar ulang dari https://www.chemistrystudent.com/collisiontheory.html

Disisi lain, model pendugaan masa simpan dengan pendekatan kadar air kritis tepat jika digunakan pada produk yang sensitif atau mudah mengalami kerusakan karena penyerapan air pada produk pangan. Keberadaan air dalam matriks pangan sangat mempengaruhi kerusakan mutu pangan karena air berperan sebagai medium utama terjadinya reaksi kimia, fisik, dan mikrobiologis yang berpotensi menyebabkan penurunan mutu pangan. Kadar air dan aktivitas air (aw) menentukan laju reaksi kerusakan seperti pencoklatan non-enzimatis, oksidasi lemak, hidrolisis, serta pertumbuhan mikroorganisme perusak, sebagaimana digambarkan pada Gambar 13.

Gambar 13. Hubungan antara aktivitas air (aw) dengan reaksi kimia penyebab penurunan mutu pangan.

Pada pangan berkadar air tinggi, perubahan fisik seperti pelunakan, pengerasan, penyusutan, atau pembengkakan dapat terjadi akibat migrasi air, yang berdampak pada tekstur dan penampilan produk. Selain itu, kehilangan air pada sayuran daun menyebabkan layu, penurunan kerapatan sel, dan hilangnya kesegaran, sementara kelebihan air dapat mempercepat pembusukan dan menurunkan daya simpan. Oleh karena itu, pendekatan kadar air kritis bisa digunakan untuk menggambarkan laju penurunan mutu. Beberapa contoh produk pangan yang dapat ditentukan dengan metode kadar air kritis adalah biskuit, wafer, permen, makanan ringan, dan beberapa produk instan.

Penyimpanan Langsung (Real-Time)

Metode *real time test* dilakukan dengan menyimpan produk pada kondisi lingkungan yang sesuai dengan distribusi dan konsumsi nyata (misal suhu, kelembapan, paparan cahaya) selama periode waktu tertentu. Selama penyimpanan, dilakukan pemantauan berkala terhadap parameter mutu seperti mikrobiologi, kimia, fisik, dan sensorik hingga produk tidak lagi memenuhi standar mutu atau keamanan yang ditetapkan. Data yang diperoleh mencerminkan perubahan mutu produk secara aktual selama masa simpan.

Metode ini banyak digunakan untuk produk pangan segar, olahan, minuman, probiotik, dan farmasi, terutama saat validasi masa simpan produk baru atau saat diperlukan data yang sangat representatif terhadap kondisi nyata distribusi dan konsumsi. *Real time test* juga digunakan untuk memvalidasi hasil uji percepatan (ASLT) dan untuk produk yang sensitif terhadap perubahan lingkungan.

Kelebihan metode

- Memberikan hasil yang sangat akurat dan representatif terhadap kondisi nyata penyimpanan dan distribusi produk.
- Dapat mengidentifikasi semua jenis kerusakan yang mungkin terjadi selama masa simpan, baik yang diprediksi maupun tidak.
- Sangat penting untuk validasi masa simpan produk baru atau produk dengan risiko keamanan tinggi.

Kekurangan

- Membutuhkan waktu yang sangat lama, sesuai dengan masa simpan produk (bisa bulanan hingga tahunan).
- Biaya operasional tinggi karena memerlukan pemantauan dan penyimpanan jangka panjang.
- Tidak efisien untuk produk dengan masa simpan sangat panjang atau untuk kebutuhan pengambilan keputusan cepat.

Catatan Penting

- *Real time test* sangat direkomendasikan untuk produk baru, produk dengan risiko keamanan tinggi, atau saat data masa simpan sangat krusial.
- Untuk efisiensi, sering dikombinasikan dengan metode prediktif atau uji percepatan, terutama pada tahap pengembangan produk.
- Perlu perencanaan matang terkait parameter yang diuji, frekuensi pengambilan sampel, dan interpretasi hasil agar data yang dihasilkan valid dan dapat diandalkan.

Metode Sensori

Metode sensori untuk menilai masa simpan suatu pangan dilakukan berdasarkan perubahan karakteristik sensori produk (warna, aroma, rasa, tekstur) yang diamati selama penyimpanan. Penentuan akhir masa simpan dilakukan ketika produk tidak lagi diterima oleh panelis atau konsumen, baik melalui penurunan skor hedonik, tingkat penolakan, atau perubahan atribut sensori yang signifikan. Analisis dapat dilakukan secara univariat (satu atribut) atau multivariat (beberapa atribut sekaligus), dan sering menggunakan metode seperti *survival analysis* untuk menghubungkan tingkat penolakan konsumen dengan waktu penyimpanan.

Ketentuan Panelis dan Sampel

- Panelis: Terdiri dari panelis terlatih (untuk deskripsi atribut sensori secara detail) dan/atau konsumen umum (untuk menilai penerimaan/penolakan). Jumlah panelis bervariasi, misal 10–15 panelis terlatih atau 50–100 konsumen untuk uji penerimaan.
- Sampel: Sampel diambil pada interval waktu tertentu selama penyimpanan, dan harus mewakili kondisi nyata produk di pasaran. Desain pengujian dapat menggunakan *balanced incomplete block design* untuk efisiensi jika jumlah sampel banyak.

Aplikasi

Metode ini banyak digunakan untuk produk pangan olahan, roti, minuman, produk susu, minyak, dan produk dengan perubahan sensori dominan selama penyimpanan. Uji sensori juga penting untuk produk di mana masa simpan lebih ditentukan oleh penerimaan konsumen daripada batas mikrobiologi.

Catatan Penting

- Pemilihan kriteria kegagalan (*failure criteria*) harus tepat agar estimasi masa simpan mencerminkan perilaku konsumen sebenarnya.
- Kombinasi antara uji sensori dan metode instrumental dapat meningkatkan keandalan hasil.
- Desain pengujian dan analisis statistik (misal *survival analysis*) sangat penting untuk validitas hasil.

Kelebihan

- Memberikan gambaran nyata tentang penerimaan konsumen terhadap produk selama masa simpan.
- Dapat mengidentifikasi atribut sensori kritis yang mempengaruhi masa simpan.
- Metode multivariat dan *survival analysis* meningkatkan akurasi estimasi masa simpan.

Kekurangan

- Bersifat subjektif, dipengaruhi persepsi panelis atau konsumen.
- Memerlukan panelis terlatih dan/atau jumlah konsumen yang cukup besar.
- Prosesnya bisa memakan waktu dan biaya, terutama untuk produk dengan masa simpan panjang.

Jenis dan Pendekatan Metode Sensori

- **Panelis Terlatih vs. Konsumen:** Pengujian dapat melibatkan panelis terlatih untuk analisis deskriptif atau konsumen untuk uji hedonik (penerimaan) dan keinginan konsumsi.
- **Metode Hedonik:** Meliputi uji batas penerimaan (*acceptability limit*) dan analisis survival, di mana konsumen menilai apakah produk masih layak dikonsumsi pada berbagai waktu penyimpanan.
- **Analisis Multivariat:** Menggunakan indeks kerusakan sensori berbasis analisis komponen utama (PCA) untuk menggabungkan perubahan berbagai atribut sensori menjadi satu ukuran.

Analisis Data dan Model Statistik

- ***Survival Analysis*:** Digunakan untuk memperkirakan probabilitas produk masih diterima konsumen seiring waktu, dengan memperhitungkan data tersensor (*censored data*).
- ***Longitudinal Data Analysis*:** Pendekatan ini menganalisis data biner dari konsumen secara berulang, mengurangi kehilangan informasi dan memperbaiki interpretasi hasil.

Metode Prediktif Mikrobiologi

Pengujian masa simpan dengan metode prediktif mikrobiologi menggunakan model matematika dan komputasi untuk memprediksi pertumbuhan, kelangsungan hidup, atau kematian mikroorganisme dalam produk pangan di bawah berbagai kondisi lingkungan (suhu, pH, aktivitas air, dsb). Model ini biasanya terdiri dari model primer (menggambarkan pertumbuhan mikroba terhadap waktu), model sekunder (menghubungkan parameter pertumbuhan dengan faktor lingkungan), dan model tersier (aplikasi perangkat lunak atau simulasi komputer). Dengan data ini, masa simpan mikrobiologis produk dapat diprediksi tanpa harus melakukan uji penyimpanan jangka panjang secara langsung.

Aplikasi

- Memperkirakan masa simpan produk pangan segar, olahan, dan siap saji.
- Menilai risiko pertumbuhan patogen seperti *Listeria monocytogenes* pada makanan siap saji.
- Membantu pengembangan produk baru, validasi perubahan formulasi, dan pengelolaan rantai dingin.

Kelebihan

- Cepat dan efisien: Tidak memerlukan uji penyimpanan jangka panjang.
- Fleksibel: Dapat digunakan untuk berbagai skenario lingkungan dan perubahan formulasi produk.
- Mendukung pengambilan keputusan berbasis risiko dalam keamanan pangan dan pengembangan produk.

Kekurangan

- Akurasi sangat tergantung pada kualitas data dan validasi model.
- Model harus divalidasi dengan data nyata agar hasil prediksi dapat diandalkan.
- Tidak selalu menangkap interaksi kompleks antar mikroba atau faktor lingkungan yang berubah-ubah.

Catatan Penting

- Model prediktif harus selalu divalidasi dengan data eksperimental atau uji tantangan untuk memastikan keakuratannya.
- Perlu mempertimbangkan variabilitas alami mikroba dan kondisi lingkungan nyata selama distribusi dan penyimpanan.
- Kombinasi dengan metode lain (misal uji sensori atau kimia) dapat meningkatkan keandalan estimasi masa simpan

Metode Electronic Tongue/Nose (E-tongue/E-nose)

Pengujian masa simpan dengan *Electronic Tongue* dilakukan dengan menggunakan sensor kimia untuk mendeteksi dan menganalisis profil rasa (seperti manis, asam, pahit, umami) pada sampel cair, meniru fungsi lidah manusia. *Electronic Nose* menggunakan sensor gas untuk mendeteksi senyawa volatil (aroma) yang dihasilkan selama penyimpanan, meniru fungsi penciuman manusia. Data dari sensor diolah menggunakan teknik statistik atau *machine learning* (misal PCA, ANN, SVM) untuk mengidentifikasi perubahan mutu dan memprediksi masa simpan produk.

Aplikasi

- Digunakan untuk memantau masa simpan daging, ikan, produk susu, minyak, buah, sayur, minuman, dan makanan olahan.
- Digunakan untuk membedakan produk segar dan rusak, mendeteksi oksidasi, fermentasi, atau kontaminasi mikroba selama penyimpanan.
- Dapat digunakan secara individual atau dikombinasikan (*data fusion*) untuk meningkatkan akurasi penilaian masa simpan.

Kelebihan

- Cepat, non-destruktif, dan efisien: Tidak memerlukan preparasi sampel rumit.
- Objektif: Mengurangi subjektivitas panelis manusia.
- Dapat digunakan untuk pemantauan *real-time* dan *in-line* di industri.
- Akurasi tinggi jika dikombinasikan dengan teknik pengolahan data canggih dan validasi yang baik

Kekurangan

- Perlu kalibrasi dan validasi rutin agar hasil tetap akurat.
- Sensitivitas sensor dapat menurun seiring waktu (*drift sensor*).
- Kurang mampu mendeteksi atribut sensori kompleks yang hanya bisa dirasakan manusia.
- Hasil sangat tergantung pada desain sensor dan algoritma pengolahan data yang digunakan

Catatan Penting

- Kombinasi *E-nose* dan *E-tongue* dengan panelis manusia atau metode kimia dapat meningkatkan keandalan hasil.
- Penggunaan *data fusion* (penggabungan data dari beberapa sensor) terbukti meningkatkan akurasi klasifikasi kesegaran dan prediksi masa simpan.
- Pemilihan dan perawatan sensor, serta pengolahan data yang tepat, sangat penting untuk hasil yang konsisten dan valid.

Uji Tantangan (Challenge Test)

Uji tantangan adalah metode di mana produk pangan atau kosmetik diinokulasi dengan mikroorganisme tertentu (bakteri, jamur, atau ragi) yang berpotensi mencemari produk selama penggunaan atau penyimpanan. Tujuannya adalah untuk menilai efektivitas pengawet atau ketahanan produk terhadap pertumbuhan mikroba selama masa simpan. Mikroorganisme yang digunakan biasanya mewakili kontaminan yang umum ditemukan pada produk tersebut, baik dari lingkungan produksi maupun dari kasus kontaminasi sebelumnya. Setelah inokulasi, produk diamati secara berkala untuk menghitung jumlah mikroba yang bertahan atau berkembang selama periode pengujian, sesuai dengan protokol resmi atau farmakope.

Contoh Aplikasi

- Diterapkan pada produk siap saji dan daging olahan.

Fungsi dan Kapan Uji Tantangan Diperlukan

Uji tantangan sangat penting untuk memastikan keamanan mikrobiologi produk, terutama untuk produk yang berisiko tinggi terkontaminasi selama distribusi atau penggunaan. Metode ini memberikan data yang sangat spesifik tentang kemampuan produk untuk menahan pertumbuhan mikroba dalam kondisi nyata, sehingga sangat relevan untuk validasi masa simpan produk baru, perubahan formulasi, atau pengujian efektivitas pengawet. Uji tantangan juga dapat dilakukan di awal, pertengahan, dan akhir masa simpan untuk memastikan keamanan produk sepanjang siklus hidupnya.

Alasan Uji Tantangan Jarang Dilakukan

Meskipun sangat bermanfaat, uji tantangan jarang dilakukan karena beberapa alasan utama:

- **Prosesnya sangat intensif dan memerlukan keahlian mikrobiologi khusus**, termasuk penanganan mikroorganisme patogen dan teknik inokulasi yang tepat.
- **Memakan waktu dan biaya tinggi**, karena harus dilakukan secara berulang pada berbagai titik waktu selama masa simpan.
- **Diperlukan fasilitas laboratorium yang memadai** dan protokol ketat untuk mencegah kontaminasi silang.
- **Interpretasi hasilnya kompleks** dan harus mengikuti standar atau regulasi yang berlaku, sehingga tidak semua produsen memiliki sumber daya untuk melakukannya secara rutin.

Penentuan Parameter Pengujian

Dalam konteks produksi pangan, masa simpan mengacu pada periode waktu setelah produksi di mana pangan dianggap aman untuk dikonsumsi, atau masih memiliki mutu sesuai dengan yang diharapkan oleh produsen.

Saat menentukan masa simpan produk, Pelaku Usaha Pangan (FBO) harus menunjukkan bahwa masa simpan produk pangan tersebut sesuai, dan bahwa pangan akan tetap aman dan/atau mempertahankan mutunya hingga akhir masa simpan tersebut.

Seorang Pelaku Usaha Pangan (FBO) harus melakukan, jika diperlukan, penyelidikan untuk memastikan kepatuhan terhadap kriteria selama masa simpan. Adapun studi yang perlu dilakukan meliputi:

- Spesifikasi karakteristik fisikokimia produk
- Spesifikasi kemasan, termasuk kondisi penyimpanan dan pengolahan
- Pertimbangan kemungkinan kontaminasi
- Perkiraan masa simpan
- Konsultasi terhadap literatur ilmiah dan data penelitian yang tersedia mengenai karakteristik pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroorganisme yang menjadi perhatian

Apabila masa simpan belum cukup tepat hanya dengan studi di atas, FBO harus melakukan studi tambahan yang dapat mencakup:

- Pemodelan matematika prediktif yang dikembangkan untuk produk pangan terkait, dengan menggunakan faktor pertumbuhan atau kelangsungan hidup kritis dari mikroorganisme yang menjadi perhatian dalam produk tersebut.
- Studi untuk mengevaluasi pertumbuhan atau kelangsungan hidup mikroorganisme yang mungkin ada dalam produk selama masa simpan dalam kondisi distribusi, penyimpanan, dan penggunaan yang dapat diperkirakan secara wajar (pengujian daya tahan).
- Pengujian untuk menyelidiki kemampuan mikroorganisme yang diinokulasi secara tepat untuk tumbuh atau bertahan hidup dalam produk di bawah berbagai kondisi penyimpanan yang dapat diperkirakan secara wajar (pengujian tantangan).

Menentukan Masa Simpan Pangan

Apa yang Mempengaruhi Masa Simpan

Lama waktu suatu produk pangan tetap aman dan bermutu sesuai yang diharapkan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Beberapa di antaranya adalah mutu mikrobiologis bahan baku, praktik produksi dan manajemen higienisnya, formulasi produk, serta faktor-faktor seperti pH, kandungan garam, atau ketersediaan air dalam produk. Selain itu, penambahan perisa atau pengawet tambahan juga dapat memengaruhi masa simpan produk tersebut.

Setiap tahap dalam proses produksi produk pangan, mulai dari penerimaan bahan baku, pengolahan, hingga distribusi ke konsumen akhir, serta lingkungan pemrosesan itu sendiri, harus diperhitungkan ketika menetapkan masa simpan. Untuk menentukan masa simpan produk dengan benar, Pelaku Usaha Pangan harus memiliki pengetahuan dan pemahaman menyeluruh mengenai karakteristik produk, kondisi distribusi, serta penggunaannya di rumah.

Selain itu, karakteristik produk dapat berubah ketika ada perubahan pada pemasok bahan baku, dan hal ini juga perlu dipertimbangkan. Beberapa karakteristik produk pangan tertentu dapat memperpanjang masa simpan, sementara karakteristik lainnya dapat memperpendeknya. Aspek-aspek yang perlu diperhitungkan dalam menentukan masa simpan akan dirangkum pada bagian berikut.

Karakteristik produk pangan dapat dibagi menjadi tiga kelompok:

1. **Karakteristik Intrinsik**
2. **Mikrobiologi**
3. **Faktor Ekstrinsik**

Pemahaman terhadap ketiga kelompok karakteristik ini sangat penting untuk memahami potensi pertumbuhan mikroba dan menetapkan masa simpan secara tepat. Bagian selanjutnya akan membahas ketiga kelompok ini secara lebih mendetail.

Karakteristik Intrinsik

Karakteristik intrinsik produk (juga dikenal sebagai sifat fisikokimia pangan) merupakan atribut dari pangan itu sendiri. Karakteristik ini akan memengaruhi kemungkinan pangan mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroorganisme.

pH dan Jenis Asam

Keasaman merupakan salah satu sifat umum pada pangan, yang berkontribusi pada berbagai faktor, termasuk rasa, stabilitas mikrobiologis, dan keamanan pangan. Tingkat keasaman dinyatakan dalam pH, di mana pH 7 bersifat netral (seperti air murni), pH di bawah 7 bersifat asam, dan pH di atas 7 bersifat basa (alkali).

pH suatu pangan atau bahan baku dapat bervariasi akibat perbedaan alami serta jenis penyimpanan dan pengolahan yang dilakukan. Proses pemasakan dapat memengaruhi sifat pangan mentah, yang dapat meningkatkan atau menurunkan pH dari produk akhir yang telah dimasak. Menambahkan bahan asam seperti cuka atau jus lemon ke dalam pangan dapat meningkatkan keasaman (yaitu menurunkan pH), sehingga membuat pangan lebih stabil dan aman secara mikrobiologis.

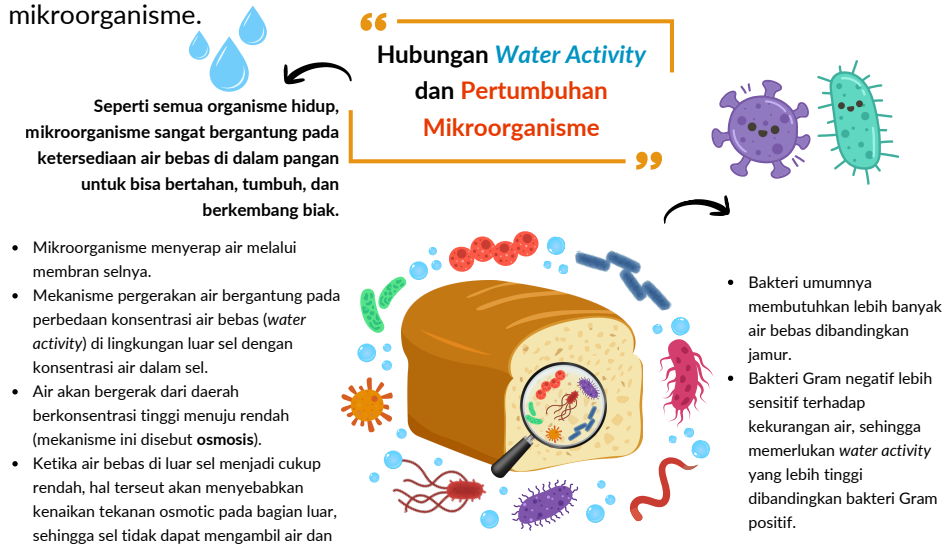
Sumber: https://foodsciencetoolbox.com/the-role-of-ph-in-food-processing/

Berbagai jenis asam umum digunakan pada produk yang berbeda. Misalnya, dalam saus dan acar, asam asetat (yaitu cuka) dengan konsentrasi 0,1% atau lebih digunakan untuk menghambat pertumbuhan patogen bawaan pangan (biasanya dikombinasikan dengan perlakuan pasteurisasi). Asam lain seperti asam sorbat dan asam benzoat digunakan oleh industri minuman untuk mengendalikan pertumbuhan kapang dan ragi.

pH pangan dapat berubah selama masa simpan (misalnya, yogurt yang menjadi semakin asam) dan perubahan ini perlu dipahami serta diperhitungkan saat menetapkan masa simpan. Selain itu, pH dapat bervariasi antara lapisan dalam produk pangan (misalnya, antara lapisan yogurt dan lapisan puree buah) dan hal ini juga perlu diperhitungkan saat menentukan masa simpan.

Water Activity (Aw)

Mikroba (seperti semua organisme hidup) memerlukan air untuk bertahan hidup dan tumbuh. Jumlah air yang tersedia bagi mikroba dalam suatu produk pangan ditunjukkan oleh "aktivitas air" atau "*available water*" (sering disingkat Aw atau aw). Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 14. Tidak semua air yang terkandung dalam bahan pangan dapat digunakan oleh mikroba, karena sebagian mungkin terikat pada molekul lain sehingga tidak tersedia bagi mikroorganisme.



Gambar 14. Hubungan antara aktivitas air (aw) dengan pertumbuhan mikroorganisme pada pangan.

Nilai Aw dinyatakan dalam angka antara 0 hingga 1, dengan 1 mewakili air murni (atau ketersediaan air sepenuhnya). Produk pangan yang mudah rusak, seperti daging segar dan hasil pertanian segar, umumnya memiliki nilai Aw sekitar 0,98. Sementara itu, produk pangan yang lebih tahan lama, seperti biskuit dan keripik, memiliki nilai Aw berkisar antara 0,3 hingga 0,6.

Ada beberapa cara untuk menurunkan Aw dalam produk pangan, antara lain:

1. Mengurangi nilai Aw pangan melalui proses seperti pengeringan atau memeras air dari dadih keju.
2. Menambahkan zat yang mengikat air, seperti garam atau gula.
3. Menggunakan humektan, yaitu zat aditif pangan yang dapat menyerap air.
4. Proses pengolahan seperti memasak juga dapat menurunkan Aw melalui penguapan.

Dengan menurunkan Aw, produk pangan menjadi kurang mudah rusak, sehingga memungkinkan penetapan masa simpan yang lebih panjang.

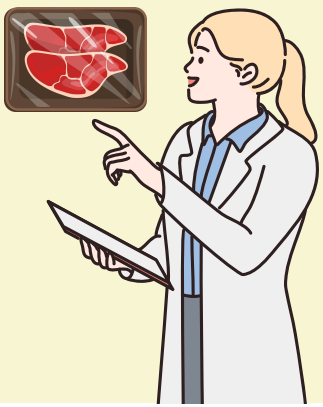
Redox Potential

Potensial redoks didefinisikan sebagai kecenderungan suatu zat untuk mendapatkan (reduksi) atau kehilangan (oksidasi) elektron dalam suatu reaksi. **Dalam konteks keamanan pangan, oksidator pangan yang paling penting adalah jumlah oksigen yang tersedia.** Semakin tinggi kadar oksigen, semakin tinggi potensial redoks, sehingga reaksi oksidasi lebih mudah terjadi. Dengan menurunkan oksigen, potensial redoks turun, sehingga reaksi oksidasi (misal pada lemak, vitamin, dan pigmen) melambat, menjaga mutu dan memperpanjang umur simpan.

Sebagian besar patogen pangan (mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit) bersifat aerobik (memerlukan oksigen untuk tumbuh). Namun, ada pengecualian penting, yaitu ***Clostridium botulinum***, bakteri penyebab botulisme, yang justru membutuhkan kondisi anaerobik (oksigen rendah) untuk tumbuh. Berbagai mikroba lain dapat tumbuh pada tingkat ketersediaan oksigen yang berbeda, sehingga perlu dipertimbangkan secara khusus pada setiap produk pangan. Misalnya, ***L. monocytogenes*** merupakan bakteri anaerob fakultatif, yang berarti dapat bertahan hidup baik di lingkungan dengan atau tanpa oksigen.

Oksigen di dalam kemasan pangan dapat memicu reaksi oksidasi, seperti oksidasi lemak dan degradasi senyawa bioaktif, yang mempercepat penurunan mutu dan memperpendek umur simpan. Dengan menurunkan kadar oksigen (misal menggunakan konsentrator oksigen atau oksigen scavenger), potensi redoks dalam sistem pangan menjadi lebih rendah, sehingga reaksi oksidasi melambat. Hal ini terbukti pada minyak zaitun extra virgin, di mana penurunan oksigen headspace hingga 2–5% secara signifikan meningkatkan umur simpan dan stabilitas oksidatif, terutama pada suhu rendah.

Strategi untuk mengurangi tingkat oksigen yang tersedia meliputi penggunaan kemasan vakum dan kemasan dengan atmosfer termodifikasi. *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) adalah teknik pengemasan yang mengubah komposisi gas di sekitar produk pangan, biasanya dengan menurunkan kadar oksigen (O_2) dan/atau meningkatkan karbon dioksida (CO_2) atau gas inert lain, untuk memperlambat kerusakan dan memperpanjang umur simpan.



Formulasi Produk dan Struktur Pangan

Variasi dalam formulasi produk dapat memengaruhi masa simpan produk. Komposisi produk akhir dapat berubah akibat tindakan manual, seperti penimbangan atau pengukuran dengan tangan (yang dapat menyebabkan kesalahan penimbangan atau perbedaan hasil) atau penerapan bahan secara manual (misalnya, pemberian garam atau pencampuran dengan tangan).

Bergantung pada jenis produk, berbagai komponen (atau lapisan berbeda) dari produk pangan akhir dapat memiliki karakteristik intrinsik yang berbeda. Misalnya, pemberian garam pada produk daging mentah secara manual akan menghasilkan lapisan luar produk dengan konsentrasi garam lebih tinggi dibandingkan bagian dalamnya. Sebaliknya, penambahan garam pada produk daging mentah melalui injeksi larutan garam akan mendistribusikan garam secara berbeda di dalam produk.

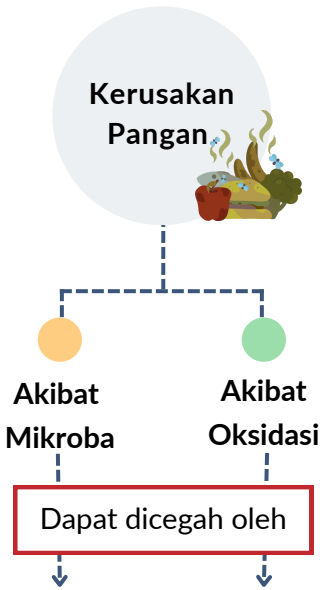
Selain itu, terdapat variabilitas alami dalam "aktivitas" bahan baku, misalnya keasaman tomat yang dapat berbeda antara varietas tomat dan musim yang berbeda. Kombinasi antara proses produksi dengan variabilitas alami bahan baku dan produk pangan itu sendiri menghasilkan formulasi/perakitan produk akhir yang khusus untuk setiap *batch*.

Variabilitas intrinsik ini perlu dipertimbangkan saat menentukan masa simpan, dan FBO (*Food Business Operator*) harus menggunakan komposisi produk dalam skenario terburuk yang masih masuk akal saat melakukan validasi.

Food Additives – Preservatives

Daya rusak suatu bahan pangan dapat dikurangi dengan menambahkan pengawet. Zat ini dianggap sebagai bahan tambahan pangan. Menurut Peraturan (EC) No 1333/2008, bahan tambahan pangan didefinisikan sebagai:

"Zat yang biasanya tidak dikonsumsi sebagai pangan itu sendiri dan tidak biasa digunakan sebagai bahan karakteristik pangan, baik memiliki nilai gizi maupun tidak, yang dengan sengaja ditambahkan ke pangan untuk tujuan teknologi dalam pembuatan, pengolahan, persiapan, perlakuan, pengemasan, transportasi, atau penyimpanan pangan tersebut, sehingga menghasilkan atau dapat diperkirakan menghasilkan zat tersebut atau hasil sampingannya menjadi komponen langsung atau tidak langsung dari pangan tersebut."



Antimikroba dan **antioksidan** ini **digolongan sebagai BTP pengawet**.

Gambar 15. Skema penyebab kerusakan pangan dan pencegahannya melalui penggunaan BTP pengawet.

Secara sederhana, BTP diartikan sebagai bahan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk memengaruhi karakteristik atau bentuk pangan. BTP terdiri atas 27 golongan. Adapun kerusakan pangan yang dapat dicegah oleh BTP yang dapat dilihat pada Gambar 15.

Di Indonesia, penggunaan BTP diatur dalam peraturan BPOM nomor 11 tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan. Untuk tujuan memperpanjang umur simpan produk, BTP yang umumnya digunakan adalah pengawet.

Di Indonesia, **pengawet** adalah BTP yang digunakan untuk mencegah atau menghambat proses fermentasi, pengasaman, penguraian, dan perusakan lainnya terhadap pangan yang disebabkan oleh mikroorganisme.
Oleh karena itu, di Indonesia pengawet merupakan zat antimikroba.

Jika pengawet ditambahkan ke dalam makanan untuk memperpanjang masa simpan, maka konsentrasi dan efektivitasnya terhadap mikroorganisme target harus ditentukan sebagai bagian dari validasi masa simpan.

Mikrobiologi

Penentuan masa simpan suatu produk pangan tidak dapat dilepaskan dari aspek mikrobiologi, terutama untuk produk-produk yang rentan mengalami pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan. Mikroba dapat berkembang biak dengan cepat pada kondisi yang sesuai, sehingga memperpendek masa simpan dan tentu saja bisa menurunkan keamanan serta mutu pangan. Produk pangan yang termasuk dalam kategori ini meliputi susu pasteurisasi, keju, makanan penutup berbasis susu, produk daging segar maupun olahan seperti sosis, serta telur segar. Selain itu, makanan siap konsumsi yang disimpan pada suhu dingin, misalnya minuman segar dan salad juga sangat sensitif terhadap kontaminasi mikroba. Bahkan produk kalengan, yang umumnya dianggap lebih stabil, tetap memiliki potensi risiko apabila proses sterilisasi tidak sempurna, karena spora dan patogen anaerob dapat bertahan.

Dalam menentukan masa simpan, pengujian mikrobiologi dilakukan dengan mengukur berbagai indikator yang relevan sesuai karakteristik produk. Indikator umum yang digunakan antara lain jumlah total mikroorganisme aerob (*aerobic plate count*), keberadaan bakteri gram-negatif, kelompok koliform, bakteri asam laktat, serta kapang dan khamir. Selain itu, deteksi mikroorganisme patogen juga menjadi aspek penting karena berhubungan langsung dengan keamanan pangan. Pemilihan jenis uji ini sangat bergantung pada sifat produk, jenis bahan baku, serta kondisi pengolahan dan penyimpanan yang memengaruhi komposisi mikroflora di dalamnya.

Jenis mikroorganisme dominan yang memengaruhi mutu pangan dapat berbeda pada tiap produk. Sayuran segar yang hanya melalui pemrosesan minimal umumnya mengandung mikroflora seperti *Pseudomonadaceae spp.*, *Enterobacteriaceae spp.*, bakteri asam laktat, dan patogen lingkungan (Ragaert *et al.*, 2007). Sementara itu, pada produk susu fermentasi atau keju, masalah mikrobiologis sering dikaitkan dengan keberadaan *Clostridium spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, serta berbagai jenis kapang dan khamir (Jalilzadeh *et al.*, 2015).

Perbedaan ini menegaskan bahwa **pemahaman terhadap mikroflora spesifik pada tiap jenis produk sangat penting dalam merancang metode pengujian yang tepat, sehingga masa simpan dapat ditetapkan secara lebih akurat baik dari sisi mutu maupun keamanan pangan.**

Mikroflora

Konsep mikroflora sangat penting dalam pengujian masa simpan pangan karena mikroorganisme yang terdapat secara alami pada bahan baku maupun yang sengaja ditambahkan selama proses pengolahan dapat memengaruhi baik keamanan maupun mutu produk akhir. Mikroflora alami pada pangan terdiri dari berbagai jenis bakteri, ragi, dan kapang yang jumlah serta komposisinya dapat bervariasi tergantung pada kondisi batch proses produksi, pemasok, dan kondisi lingkungan. Variasi ini juga menyebabkan perbedaan dalam laju pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan, sehingga memengaruhi masa simpan produk. Selain itu, perubahan formulasi, variabel proses, atau kondisi penyimpanan juga berpotensi dapat mengubah komposisi mikroflora awal dan perkembangannya selama masa simpan, yang pada akhirnya menentukan waktu terjadinya penurunan mutu atau munculnya risiko keamanan pangan.

Dalam beberapa kasus, mikroorganisme juga ditambahkan secara sengaja untuk tujuan teknologi pengolahan pangan, seperti pada produk fermentasi (misalnya yogurt, salami, atau sourdough). Mikroflora yang diintroduksi ini berperan dalam pembentukan karakteristik sensori dan pengawetan alami produk, namun tetap harus dipantau agar tidak terjadi pertumbuhan mikroorganisme patogen atau perusak selama masa simpan. Oleh karena itu, penentuan masa simpan pangan harus melibatkan evaluasi menyeluruh terhadap perkembangan total mikroflora, baik yang berasal dari bahan baku maupun yang ditambahkan, serta potensi pertumbuhan mikroorganisme patogen dan perusak selama penyimpanan. Pengujian ini dapat dilakukan melalui pemantauan jumlah mikroorganisme, *challenge test*, serta penggunaan model prediktif mikrobiologi untuk memperkirakan dinamika pertumbuhan mikroba dan menentukan masa simpan yang aman dan optimal.

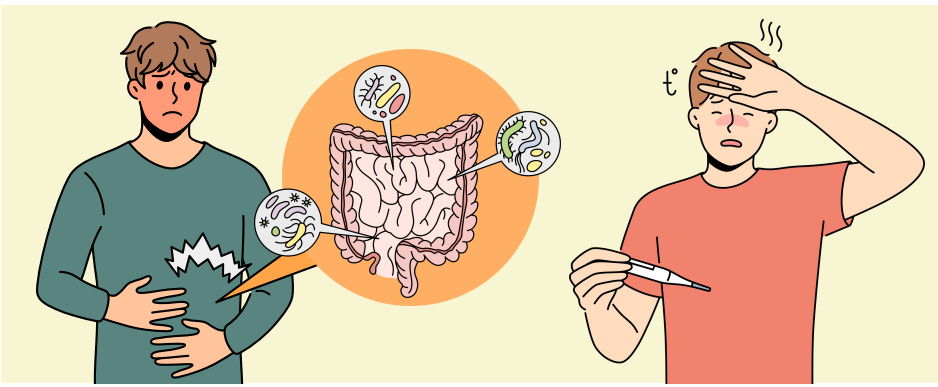
Mikroorganisme dalam produk akhir dapat berasal dari bahan baku atau dari kontaminasi selama proses pengolahan maupun lingkungan. Terdapat dua kelompok utama mikroorganisme yang harus dipertimbangkan saat menentukan masa simpan:

- **Patogen:** Mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia.
- **Mikroorganisme Perusak Pangan:** Mikroorganisme yang umumnya tidak berbahaya bagi kesehatan manusia, tetapi dapat memengaruhi mutu pangan (misalnya menyebabkan kerusakan atau pembusukan).

Kedua kelompok mikroorganisme ini akan dibahas lebih rinci pada bagian berikutnya.

1 Patogen

Patogen adalah bakteri, virus, atau mikroorganisme lain yang dapat menyebabkan penyakit. Berbagai jenis organisme patogen dapat hadir dalam bahan mentah, produk antara, atau produk akhir. Patogen seperti *Listeria monocytogenes* dapat tumbuh aktif dalam makanan selama proses produksi dan/atau penyimpanan, dan mencapai tingkat berbahaya sebelum produk dikonsumsi. Patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus cereus* dapat tumbuh dalam makanan dan menghasilkan racun, yang menyebabkan keracunan makanan setelah dikonsumsi. Patogen seperti *Campylobacter* dan *Salmonella spp*. tidak tumbuh dengan baik pada suhu dingin. *Salmonella spp*. dapat tetap dorman pada makanan dengan kadar air rendah/tinggi lemak seperti cokelat dan selai kacang selama waktu yang lama dan menyebabkan keracunan makanan setelah makanan tersebut dikonsumsi. Jenis patogen lainnya dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2.**



Tabel 1. Ciri-ciri Bahaya Konsumsi Makanan Terkontaminasi Mikroba Pangan

Jenis Mikroba Patogen	Gejala Utama	Komplikasi Serius
Salmonella, *E. coli*, *Shigella*	Diare, muntah, demam, kram	Dehidrasi, gagal ginjal
Listeria monocytogenes	Demam, nyeri otot	Sepsis, meningitis, keguguran
Staphylococcus aureus	Mual, muntah, diare	Syok, kematian (jarang)

Sumber: Abebe, E., Gugsa, G., & Ahmed, M. (2020). Review on Major Food-Borne Zoonotic Bacterial Pathogens. Journal of Tropical Medicine, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/4674235.

Tabel 2. Patogen Paling Umum dan Produk Pangan Terkait

Bahaya	Jenis makanan yang paling sering dikaitkan dengan infeksi pada manusia
Bacillus cereus	Nasi yang dimasak (sindrom emetik). Produk daging, sup, sayuran, puding, dan saus (sindrom diare)
Bacillus spp. (*Bacillus* patogen lainnya)	Daging matang, unggas, sayuran, dan produk bertepung seperti nasi dan roti
Campylobacter spp (tahan panas)	Ayam, susu dan produk susu yang tidak dipasteurisasi, air minum yang tidak diolah
Clostridium perfringens	Masakan daging dan unggas, makanan sisa, kaldu, dan saus
Escherichia coli O157 (dan penghasil toksin Shiga lainnya *E. coli* (STEC))	Daging merah yang tidak matang sempurna, misalnya burger sapi; salad dan sayuran berdaun lainnya; susu dan produk susu yang tidak dipasteurisasi; daging fermentasi dan air yang tidak diolah
Listeria monocytogenes	Makanan siap saji seperti sandwich, keju lunak, pâté, ikan asap, mentega, dan daging olahan yang diiris
Salmonella spp. (bukan Typhi/Paratyphi)	Telur dan unggas yang tidak dimasak dengan sempurna, atau produk yang mengandung bahan-bahan tersebut seperti mayones telur. Daging babi, sapi, produk susu, biji-bijian, rempah, salad, sayuran, buah, kelapa, rempah-rempah, kacang-kacangan, jus buah, dan produk camilan cokelat
Staphylococcus aureus dan dan *staphylococcus* positif koagulase lainnya	Produk susu dan permen (susu, kue berisi krim, keju, es krim), daging matang
Vibrio cholerae	Kerang impor
Vibrio parahaemolyticus	Makanan laut impor
Yersinia enterocolitica dan *Y. pseudotuberculosis*	Daging, produk susu, dan sayuran salad

Sumber: UK Health Security Agency. (2024). Guidelines for Assessing the Microbiological Safety of Ready-to-Eat Foods Placed on the Market

2 Mikroorganisme Penyebab Kerusakan Pangan

Mikroorganisme Penyebab Kerusakan Mutu Pangan adalah mikroba (bakteri, kapang, atau khamir) yang menyebabkan perubahan organoleptik (warna, bau, rasa, tekstur) sehingga pangan menjadi tidak layak konsumsi, meskipun belum tentu berbahaya bagi kesehatan. Kerusakan ini menyebabkan pemborosan pangan dan kerugian ekonomi, namun tidak selalu menimbulkan penyakit pada manusia

Mikroorganisme penyebab kerusakan mutu pangan sangat beragam, namun beberapa kelompok utama telah diidentifikasi sebagai penyebab utama pada berbagai jenis pangan. Misalnya, bakteri dari genus Pseudomonas dikenal sebagai penyebab utama kerusakan pada berbagai produk pangan mentah maupun siap saji. Pseudomonas mampu tumbuh pada suhu rendah dan menyebabkan perubahan warna, bau, serta tekstur pada daging, ikan, dan produk susu. Selain itu, bakteri pembentuk spora aerob seperti *Bacillus*, *Paenibacillus*, dan *Alicyclobacillus* juga sering menyebabkan kerusakan pada berbagai makanan dan minuman, terutama karena kemampuannya bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan dan menghasilkan enzim perusak. Sementara itu, bakteri pembentuk spora anaerob seperti *Clostridiales* menjadi masalah pada produk dengan kadar oksigen rendah, seperti makanan kaleng, karena dapat menghasilkan gas dan senyawa berbau tidak sedap.

Selain bakteri, jamur (kapang dan khamir) juga merupakan penyebab penting penurunan mutu pangan, terutama pada produk dengan aktivitas air rendah atau pH rendah yang kurang rentan terhadap kerusakan oleh bakteri. Jamur seperti Aspergillus dan Penicillium dapat tumbuh pada roti, buah kering, dan kacang-kacangan, menyebabkan perubahan warna, tekstur, serta menghasilkan mikotoksin yang berbahaya. Kerusakan mutu pangan oleh mikroorganisme ini biasanya terdeteksi melalui perubahan sensori seperti bau asam, lendir, perubahan warna, dan tekstur yang tidak diinginkan.

Untuk mengendalikan kerusakan ini, strategi pengendalian meliputi pengelolaan sumber bahan baku, penerapan teknologi pengawetan, serta penggunaan kemasan yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Dengan memahami jenis mikroorganisme penyebab kerusakan dan mekanisme pertumbuhannya, produsen pangan dapat merancang sistem pengujian masa simpan yang efektif, misalnya dengan memantau parameter suhu, aktivitas air, dan total mikroba selama penyimpanan (Snyder *et al.*, 2024).

Mikroorganisme Kompetitif

Dalam konteks keamanan pangan, mikroorganisme kompetitif mencakup bakteri dan jamur tertentu yang secara alami ada dalam produk atau sengaja ditambahkan selama proses pengolahan, yang bersaing dengan patogen yang ada. Mikroorganisme ini mungkin ditambahkan secara khusus karena efeknya terhadap patogen, atau efek pada patogen dapat terjadi selain dari tujuan utama (misalnya, sebagai starter fermentasi). Penambahan mikroorganisme kompetitif sering kali membuat matriks pangan menjadi kurang cocok bagi mikroba penyebab kerusakan pangan dan patogen.

Salah satu kelompok mikroorganisme kompetitif yang paling banyak digunakan adalah bakteri asam laktat (BAL). BAL tidak hanya berperan dalam fermentasi pangan, tetapi juga menghasilkan berbagai senyawa antimikroba seperti asam organik (laktat, asetat), hidrogen peroksida, bakteriocin, dan peptida antijamur. Senyawa-senyawa ini mampu menurunkan pH, menciptakan lingkungan yang tidak ramah bagi patogen, serta secara aktif menghambat pertumbuhan mikroorganisme perusak dan patogen.

Kehadiran mikroorganisme kompetitif seperti bakteri asam laktat tidak dapat digunakan sebagai faktor pengendalian dalam penentuan masa simpan.
Namun, efek spesies ini dalam menurunkan pH dapat diukur dan pada gilirannya dapat menjadi faktor yang digunakan saat menentukan masa simpan.

Selain itu, penggunaan mikroorganisme kompetitif seperti bakteri asam laktat (BAL) juga memberikan keuntungan tambahan dalam menjaga mutu pangan. BAL dan metabolit antimikrobanya, seperti asam organik, hidrogen peroksida, bakteriocin, dan peptida antijamur, tidak hanya efektif dalam menghambat pertumbuhan mikroba perusak dan patogen, tetapi juga berperan dalam mempertahankan karakteristik sensorik pangan seperti warna, rasa, dan tekstur.

Dengan demikian, aplikasi biopreservasi menggunakan mikroorganisme kompetitif tidak hanya meningkatkan keamanan pangan, tetapi juga membantu memperpanjang umur simpan produk tanpa mengorbankan nilai gizi dan mutu organoleptik. Pendekatan ini semakin diminati industri pangan karena mampu mengoptimalkan jaminan mutu produk secara alami, sekaligus memenuhi permintaan konsumen akan pangan yang lebih sehat dan minim bahan pengawet sintetis (Reis *et al*., 2012)

Mikroorganisme Pada Bahan Baku

Jenis dan jumlah mikrobiologi bahan baku memengaruhi keamanan dan masa simpan produk pangan.

Mikroorganisme pada bahan baku pangan merupakan faktor utama yang memengaruhi mutu dan masa simpan produk akhir. Bahan baku seperti susu segar, daging, dan hasil pertanian umumnya mengandung komunitas mikroba alami yang berasal dari lingkungan, peralatan, dan proses penanganan. Dalam susu segar, misalnya, metagenomik menunjukkan dominasi bakteri seperti *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, dan *Staphylococcus spp.* pada awal penyimpanan. Namun, selama penyimpanan dingin, bakteri psikrotrof seperti *Pseudomonas spp*. menjadi lebih dominan dan berperan besar dalam percepatan kerusakan mutu, terutama setelah beberapa hari penyimpanan. Keberadaan mikroorganisme ini dapat menyebabkan perubahan warna, bau, rasa, serta tekstur, sehingga penting untuk memantau dan mengendalikan populasinya sejak tahap bahan baku (Lee *et al.*, 2025).

Selain itu, penting juga untuk memberi tahu pemasok bahan baku mengenai tujuan penggunaan produk akhir, misalnya jika produk tersebut akan siap saji (*ready-to-eat*). Perlu diperhatikan bahwa masa simpan makanan yang terbuat dari bahan siap saji (RTE) tidak boleh melebihi masa simpan bahan dengan masa simpan terpendek, kecuali jika telah menjalani proses lebih lanjut yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang ada (misalnya, dimasak).

Tambahan lainnya adalah, jika air dan/atau es digunakan sebagai bahan baku atau untuk persiapan produk pangan, maka air tersebut harus memenuhi standar air minum. Jika air tidak memenuhi mutu air minum, atau jika mutunya tidak dapat diandalkan (misalnya dari sumur pribadi), maka perusahaan harus melakukan perlakuan yang sesuai untuk memastikan air memenuhi standar air minum sebelum digunakan. Sebagai contoh, penggunaan air yang telah diaktivasi dengan teknologi plasma atau elektrolisis terbukti secara signifikan menurunkan jumlah total bakteri pada bahan pangan, sehingga memperpanjang masa simpan dan menjaga mutu produk selama penyimpanan dingin. Sebaliknya, air dengan total plate count tinggi terbukti mempercepat kerusakan dan menurunkan umur simpan produk seperti daging ayam, ikan, dan sayuran segar (Rebezov *et al.*, 2022).

Pengolahan, Termasuk Perlakuan Panas

Dalam proses pembuatan makanan, produk biasanya melewati berbagai tahap proses pengolahan. Setiap tahap proses bisa memengaruhi karakteristik produk pangan, seperti komposisi zat gizi makro maupun mikro dan kandungan kadar airnya, yang pada akhirnya akan berdampak pada keamanan dan mutu mikrobiologinya. Salah satu cara paling umum untuk memastikan makanan aman dikonsumsi adalah melalui proses pemanasan atau pengolahan panas. Pengolahan ini bisa dilakukan dengan cara memasak hingga matang sepenuhnya, atau cukup memanaskan pada suhu tertentu dalam waktu singkat untuk menghasilkan produk yang tidak sepenuhnya matang.

Memasak makanan hingga benar-benar matang, yakni mencapai kombinasi suhu dan waktu yang tepat dapat membunuh berbagai bakteri berbahaya seperti *Salmonella*, *E. coli*, dan *Listeria monocytogenes*. Namun, jika pemanasannya tidak maksimal, seperti dalam metode pasteurisasi atau pemanasan sebentar, bakteri mungkin tidak sepenuhnya hilang, meskipun jumlahnya bisa ditekan. Oleh karena itu, proses-proses ini harus divalidasi, artinya harus dibuktikan secara ilmiah bahwa perlakuan tersebut cukup efektif mengurangi jumlah mikroba hingga batas aman untuk dikonsumsi.

Selain pemanasan, ada banyak metode pengolahan lain yang juga berpengaruh terhadap keamanan dan masa simpan pangan. Misalnya, pengasapan, pengeringan, fermentasi, hingga teknik-teknik modern seperti pemrosesan tekanan tinggi dan perlakuan plasma dingin. Masing-masing metode ini memiliki keunggulan dalam menekan pertumbuhan mikroba atau memperpanjang masa simpan produk dan meningkatkan atribut sensori. Namun, proses pengolahan dengan panas tersebut juga berpotensi menurunkan kandungan zat gizi, terutama komponen yang sensitif terhadap panas. Setiap metode tetap perlu ditinjau efektivitasnya, apakah benar-benar bisa membuat produk tetap aman dan bermutu saat sampai ke tangan konsumen. Dengan pengolahan yang tepat dan teruji, produsen dapat memastikan makanan tidak hanya lezat dan bergizi, tetapi juga aman dikonsumsi hingga masa simpannya berakhir.

Pengemasan

Saat menentukan masa simpan suatu produk makanan, kemasan menjadi salah satu hal penting yang harus diperhatikan. Jenis dan bahan kemasan dapat sangat memengaruhi seberapa lama makanan bisa tetap aman dan bermutu. Ini karena kemasan memiliki sifat penghalang terhadap udara, air, atau gas lain yang bisa masuk atau keluar. Jika kemasan tidak cukup rapat, hal ini bisa memicu pertumbuhan mikroorganisme atau mempercepat perubahan rasa, warna, dan tekstur makanan. Selain itu, kemasan juga bisa memengaruhi reaksi kimia dan enzimatik di dalam makanan yang menyebabkan produk menjadi rusak sebelum waktunya.

Salah satu contoh pengaruh kemasan yang sering diabaikan adalah kemampuannya menahan cahaya. Banyak zat dalam makanan—baik yang alami maupun tambahan seperti vitamin atau pewarna—sangat sensitif terhadap cahaya. Jika kemasan tidak mampu melindungi dari sinar matahari atau cahaya lampu, maka kandungan gizi atau tampilan produk bisa cepat menurun. Oleh karena itu, pemilihan kemasan yang tepat bukan hanya soal penampilan, tetapi juga soal menjaga keamanan dan mutu makanan selama masa simpannya.

Fungsi Kemasan

Bagi Produsen

1. Memudahkan distribusi barang ke konsumen
2. Identifikasi barang menjadi mudah
3. Produk jadi lebih sulit dipalsukan
4. Aspek komunikasi (pencitraan produk), sehingga produk mudah diingat konsumen
5. Satuan dalam penghitungan kuantitas produk

Bagi Konsumen

1. Konsumen dapat memanfaatkan fungsi kemasan dalam penyimpanan, kebersihan, aspek kepraktisan dan kemudahan dalam pemindahan barang
2. Mutu produk lebih terjamin
3. Konsumen mendapat informasi produk pada label (komposisi, umur simpan, produsen, dll)
4. Pemanfaatan kemasan setelah pemakaian habis
5. Memiliki nilai estetika kemasan untuk disimpan/dikoleksi

Pemilihan jenis kemasan harus disesuaikan dengan beberapa hal, di antaranya:

1. Jenis produk yang akan dikemas
2. Proses produksi yang digunakan
3. Mesin yang tersedia; dan
4. Target Pasar

> **Teknologi telah membuat kemasan berubah fungsi, dulu orang bilang *"Packaging protects what it sells"* (kemasan melindungi apa yang dijual)", sekarang *"Packaging sells what it protects"* (kemasan menjual apa yang dilindungi)"**

Variabel Kondisi Penyimpanan dan Distribusi

Saat menentukan masa simpan, produsen harus mempertimbangkan kondisi nyata yang mungkin dialami produk, mulai dari gudang, pengiriman, hingga penyimpanan di rumah konsumen. Untuk membantu menilai ketahanannya, uji transit sering digunakan guna mensimulasikan kondisi distribusi.

Terdapat beberapa variabel dalam ruang penyimpanan dan distribusi yang perlu dikendalikan untuk mempertahankan atau memperpanjang masa simpan pangan, diantaranya:

Komposisi Udara

Udara pada dasarnya merupakan campuran gas dengan komposisi utama:

- **Nitrogen (N_2) ± 78%:** Berfungsi sebagai gas inert, tidak reaktif terhadap sebagian besar bahan pangan.
- **Oksigen (O_2) ± 21%:** Sangat berpengaruh pada proses oksidasi, respirasi produk segar, dan pertumbuhan mikroba aerob.
- **Karbon dioksida (CO_2) ± 0,03–0,04%:** Memiliki efek antimikroba, dapat memperlambat pertumbuhan bakteri tertentu.
- **Gas lain** dalam jumlah kecil, seperti argon, neon, helium, ozon, dan uap air.

Pada kondisi penyimpanan pangan, selain komposisi alami ini, bisa juga terjadi modifikasi (*Modified Atmosphere Packaging*/MAP) atau pengendalian atmosfer (*Controlled Atmosphere*/CA) untuk memperpanjang umur simpan.

Selama penyimpanan, udara dapat menjadi faktor utama penurunan mutu pangan:

- **Oksidasi lemak** menyebabkan bau tengik dan penurunan mutu nutrisi (misalnya vitamin larut lemak).
- **Perubahan warna akibat oksidasi pigmen** (contoh: daging merah kehilangan warna segar karena mioglobin teroksidasi).
- **Respirasi produk segar** (buah, sayuran) yang dipengaruhi kadar O_2 dan CO_2 di sekitarnya yang bisa mempercepat pematangan dan kerusakan.
- **Pertumbuhan mikroba** (bakteri, kapang, khamir) lebih cepat pada kondisi udara yang kaya oksigen dan lembab.
- **Kelembaban udara** dapat memicu penyerapan air oleh bahan kering (misalnya kerupuk, biskuit) sehingga kehilangan kerenyahan.

Pada tahap distribusi (transportasi dan peredaran ke konsumen), faktor udara juga berperan mempercepat penurunan mutu pangan melalui beberapa mekanisme, diantaranya:

- Fluktuasi suhu dan kelembaban udara selama distribusi dapat mempercepat reaksi oksidasi dan pertumbuhan mikroba.
- Kontaminasi silang melalui udara (misalnya debu, spora jamur, atau bakteri di ruang distribusi).
- Kebocoran kemasan menyebabkan kontak langsung produk dengan udara luar, memicu oksidasi, perubahan rasa, atau kerusakan tekstur.
- Perubahan atmosfer dalam kemasan akibat getaran, tekanan, atau perubahan suhu selama transportasi, yang dapat mengurangi efektivitas MAP/CA.

Suhu

Suhu penyimpanan sangat memengaruhi seberapa cepat mikroba tumbuh pada makanan selama masa simpannya, mulai dari proses produksi hingga dikonsumsi. Umumnya, suhu yang lebih rendah akan memperlambat pertumbuhan mikroba, terutama jika disimpan di bawah 5°C. Sebaliknya, pada suhu antara 8°C hingga 63°C—yang dikenal sebagai “zona bahaya”—mikroba justru bisa berkembang biak dengan cepat, khususnya di kisaran 25–40°C. Oleh karena itu, makanan yang mudah rusak sebaiknya disimpan dalam suhu dingin, seperti di lemari pendingin.

Ketika produsen menentukan masa simpan suatu produk, mereka perlu mempertimbangkan suhu yang mungkin dialami produk selama penyimpanan di berbagai tahap: saat diproduksi, dikirim ke toko, hingga disimpan oleh konsumen di rumah. Salah satu acuan realistis adalah suhu lemari es rumah tangga, yang biasanya sekitar 8°C. Inilah sebabnya pengujian masa simpan juga mempertimbangkan skenario "terburuk" yang wajar agar produk tetap aman dikonsumsi hingga akhir masa simpannya.

Cahaya

Cahaya, baik cahaya matahari maupun cahaya lampu fluoresen/LED merupakan bentuk energi elektromagnetik. Radiasi cahaya, khususnya pada panjang gelombang UV (200–400 nm) dan biru–hijau (400–500 nm), memiliki energi cukup tinggi untuk memicu reaksi kimia dalam pangan. Efeknya seringkali bersifat fotokimia maupun fotooksidasi, yang membuat reaksi penurunan mutu berjalan lebih cepat dibandingkan kondisi gelap.

Berbagai mekanisme kerusakan yang dipicu cahaya

- **Fotooksidasi lemak:** Cahaya akan mengaktifkan molekul sensitisator (misalnya riboflavin dalam susu, klorofil pada minyak) yang kemudian bereaksi dengan oksigen menghasilkan singlet oxygen yang bisa mempercepat ketengikan (off-flavor, bau tengik, perubahan rasa).
- **Degradasi pigmen dan warna:** Cahaya akan merusak pigmen alami (klorofil, karotenoid, antosianin, mioglobin). Sebagai contoh, susu dalam botol bening akan memilki warna kekuningan dan bau aneh karena degradasi riboflavin.
- **Kerusakan vitamin :** Terdapat beberapa vitamin sensitif cahaya, diantaranya:
  - Vitamin A, C, E (antioksidan) cepat terdegradasi.
  - Riboflavin (B_2) sangat fotosensitif
- Pertumbuhan mikroba tertentu: Cahaya hangat (infrared/UV) dapat meningkatkan suhu lokal atau memicu stres oksidatif yang justru memberi peluang pertumbuhan jamur/khamir di permukaan pangan.

Penanganan Oleh Konsumen

Ketika menentukan masa simpan suatu produk, penting untuk memperhitungkan bagaimana konsumen akan membeli, menyimpan, dan menggunakannya. Ini termasuk kebiasaan umum seperti menyimpan makanan di kulkas, membawa belanjaan dari toko ke rumah, atau membiarkan makanan berada di suhu ruang untuk sementara waktu. Misalnya, banyak penelitian masa simpan memperhitungkan bahwa produk bisa saja disimpan pada suhu 20–22°C selama sekitar dua jam saat konsumen membawanya pulang. Hal-hal seperti ini harus diperhitungkan agar produk tetap aman dikonsumsi dalam kondisi normal sehari-hari.

Selain itu, penting juga untuk memikirkan bagaimana konsumen akan menggunakan produk tersebut. Apakah produk itu dianggap siap makan, atau perlu dimasak dulu? Apakah ada kemungkinan konsumen salah memperlakukan produk, seperti membiarkannya terlalu lama di luar lemari es sebelum dimakan? Semua kemungkinan ini, termasuk petunjuk penyimpanan dan cara penggunaan yang tercantum pada kemasan, harus diperhatikan agar masa simpan yang ditentukan benar-benar mencerminkan kenyataan di lapangan.

Data yang Tersedia Dalam Literatur Ilmiah

Jurnal ilmiah, buku, dan panduan industri menyajikan banyak informasi berguna tentang bagaimana bakteri berbahaya bisa bertahan atau berkembang dalam berbagai jenis makanan. Informasi ini bisa menjadi pegangan awal bagi pelaku usaha pangan (FBO) untuk memahami karakteristik produk mereka, baik dari sisi dalam (seperti tingkat keasaman, kadar air, dan kandungan gizi) maupun dari luar (seperti suhu dan kelembapan penyimpanan). Selain itu, banyak literatur juga menyediakan model prediktif mikrobiologi, yaitu alat bantu untuk memperkirakan seberapa cepat mikroorganisme akan berkembang dalam kondisi tertentu. Dengan begitu, FBO bisa lebih cermat menilai risiko keamanan produk selama masa simpannya.

Pastikan untuk mengambil informasi dari sumber yang kredibel dan informasi dari literatur sebaiknya hanya dijadikan acuan awal, bukan satu-satunya dasar keputusan. Setiap produk bisa memiliki perbedaan kecil dalam bahan, proses, atau cara pengemasannya yang bisa berdampak besar terhadap pertumbuhan mikroba.

Oleh karena itu, penting bagi FBO untuk tetap melakukan uji masa simpan langsung terhadap produk yang sebenarnya. Uji ini akan memberikan gambaran nyata tentang seberapa lama produk bisa disimpan dengan aman dan tetap bermutu. Selain itu, hasil uji ini juga bisa digunakan untuk mengecek keakuratan model prediktif yang digunakan dari sumber lain.

Pemanfaatan data literatur yang tepat juga bisa membantu FBO menyusun uji tantangan atau studi validasi lain yang sesuai dengan produk mereka. Dengan menggabungkan informasi ilmiah dan data hasil pengujian di lapangan, masa simpan yang ditentukan tidak hanya akan mengikuti aturan yang berlaku, tetapi juga memberikan perlindungan maksimal terhadap risiko kontaminasi selama produk didistribusikan dan dikonsumsi oleh masyarakat. Langkah ini menjadi kunci untuk menjaga kepercayaan konsumen sekaligus memastikan keamanan pangan secara menyeluruh.

Data Historis

Data historis adalah kumpulan catatan atau arsip hasil pengujian, pengalaman produksi, serta distribusi produk pangan dari periode sebelumnya. Bagi perusahaan pangan, data ini merupakan **"jejak pengalaman"** yang sangat berharga untuk:

- Sebagai titik awal estimasi: Jika produk serupa pernah diuji, data lama bisa dipakai untuk memprediksi rentang umur simpan produk baru dengan formula mirip.
- Efisiensi waktu dan biaya: Tidak semua uji harus dimulai dari nol; data historis mempersempit skenario uji yang perlu dilakukan.
- Identifikasi parameter kritis: Misalnya, dari pengalaman sebelumnya, diketahui bahwa kadar air >12% menyebabkan snack cepat melempem, sehingga angka tersebut dijadikan batas kritis.
- Evaluasi stabilitas produk jangka panjang: Data klaim umur simpan lama dapat diverifikasi dengan catatan stabilitas produk di pasaran.
- Pencegahan risiko: Jika data historis menunjukkan bahwa distribusi di daerah dengan suhu tinggi mempercepat kerusakan, maka perusahaan dapat membuat kebijakan penyimpanan khusus.

Contoh dari jenis data historis mungkin meliputi:

a. Data Produksi, seperti:

- Formula produk (komposisi bahan baku, proporsi, jenis aditif/pengawet).
- Proses produksi (suhu pemanasan, waktu, kondisi pengemasan).
- Riwayat perubahan resep/teknologi (misalnya perubahan jenis minyak atau metode sterilisasi).

b. Data Mutu dan Keamanan Pangan, seperti:

- Hasil uji mikrobiologi (TPC, E. coli, Salmonella, kapang, khamir).
- Hasil uji kimia (kadar air, oksidasi lemak/peroksida, kadar garam, pH).
- Hasil uji fisik (tekstur, warna, kadar kerenyahan).
- Hasil uji sensoris (penerimaan panelis terhadap rasa, aroma, tampilan).

c. Data Penyimpanan dan Distribusi, seperti:

- Lama penyimpanan pada berbagai kondisi (suhu ruang, dingin, beku).
- Data suhu/kelembaban pada gudang dan selama transportasi.
- Catatan keluhan konsumen atau product return akibat kerusakan mutu.

d. Data Regulasi dan Klaim Label, seperti:

- Masa simpan yang pernah diajukan atau disetujui otoritas.
- Riwayat audit internal/eksternal terkait klaim masa simpan.

Rancangan Eksperimental Pengujian Masa Simpan

Menentukan kriteria keberhasilan masa simpan adalah hal yang sangat penting dilakukan di awal, karena hal ini akan memengaruhi rancangan eksperimen. Sepanjang percobaan pengambilan data untuk memprediksi masa simpan suatu produk, bisa saja proses pengujian tidak berjalan dengan baik. Sebagai contoh, jika seorang analis mendapatkan hasil yang baik (sesuai teori maupun hipotesa) pada minggu ke-1 hingga minggu ke-6, dan ke-7, tetapi hasil yang tidak baik pada minggu ke-8, maka masa simpan sesungguhnya dari produk tersebut adalah 7 minggu.

Saat merencanakan durasi eksperimen masa simpan, analis perlu memulainya berdasarkan ekspektasi bisnis. Hal ini bisa berasal dari pelanggan, konsumen, produk serupa di pasaran, kebutuhan distribusi, tingkat kehati-hatian terhadap risiko (*risk aversion*), dan/atau kebutuhan bisnis secara umum. Banyak perusahaan mengurangi label masa simpan sebesar 20%–30% dari masa simpan sesungguhnya. Pendekatan ini digunakan untuk mengantisipasi variabilitas dalam produksi dan distribusi yang mungkin berdampak pada mutu atau keamanan produk. Oleh karena itu, waktu pengujian dalam eksperimen bisa berlangsung 20%–30% lebih lama daripada masa simpan yang tertera pada kemasan produk.

Dalam uji masa simpan (*shelf-life testing*), perusahaan pangan perlu menentukan titik pengambilan sampel untuk dianalisis sepanjang periode penyimpanan.

- *Mode of failure* (mekanisme kerusakan produk): Jika perusahaan sudah memahami bagaimana produk rusak (misalnya karena tengik, melempem, atau cemaran mikroba), maka titik pengambilan sampel bisa diatur lebih efisien.
- Efisiensi biaya: Tidak perlu mengambil sampel terlalu sering di awal, karena biasanya produk masih stabil. Titik pengambilan sebaiknya diperbanyak mendekati akhir perkiraan masa simpan, di mana risiko kerusakan lebih tinggi. Strategi ini dikenal dengan *back-loaded sampling*.

Strategi penentuan titik pengambilan sampel selama penyimpanan digambarkan pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Contoh waktu pengambilan sampel untuk eksperimen masa simpan

%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	X					X			X	X	X	X		X

% yang dimaksud pada tabel diatas adalah terhadap waktu perkiraan masa simpan yang telah ditetapkan oleh tim analisis.
Misalnya sebuah snack keripik diperkirakan memiliki umur simpan 6 bulan pada suhu ruang.

- 0% (awal) = bulan ke-0 , dilakukan uji warna, kerenyahan, kadar air, mikroba.
- 50% = bulan ke-3 , dilakukan uji kadar air, sensori kerenyahan.
- 80% = bulan ke-4,8, dilakukan uji perubahan rasa, mulai deteksi bau apek.
- 90% = bulan ke-5,4 , dilakukan uji sensori lebih detail.
- 100% = bulan ke-6, dilakukan evaluasi akhir.
- 110–130% (bulan 6,6 – 7,8) , dilakukan uji untuk mengetahui apakah masih bisa dikonsumsi aman setelah melewati klaim masa simpan.

Desain eksperimental yang baik bertujuan untuk meminimalkan dan/atau memperhitungkan variabilitas. Dalam melakukan studi masa simpan, sejumlah faktor berikut perlu diperhatikan:

- **Variabilitas bahan baku** meliputi: masa panen bahan baku (termasuk perubahan karakteristik nutrisi seperti lemak, gula, dan padatan), variasi jenis (jika menggunakan produk pertanian segar), variasi antar pemasok.
- **Variabilitas proses produksi** meliputi: jumlah mikroba (*microbial load*), pH dan kadar asam, tingkat sanitasi, suhu, lama waktu tinggal (*dwell times*), tekanan, variabilitas antar bagian (akibat pemrosesan per batch atau perbedaan posisi seperti sisi-ke-sisi atau atas-ke-bawah pada produk yang disusun dalam lapisan).
- **Kondisi penyimpanan** meliputi: suhu, kelembapan, aliran udara, kemasan, paparan cahaya.
- **Dalam pengujian warna, tekstur, dan rasa, penting untuk mengontrol:** suhu penyajian, area pengujian dan pencahayaan, aroma yang mungkin bersaing, waktu pengujian dalam sehari, urutan penyajian dan penyusunan (dengan memperhatikan efek halo dan bias posisi), pembersih langit-langit mulut (*palate cleansers*).

Ukuran sampel pada setiap titik waktu tergantung pada tingkat kepercayaan yang diinginkan (umumnya 90%–95% dalam industri pangan), besar variabilitas dalam produk (simpangan baku), dan besarnya perbedaan yang ingin dideteksi oleh ilmuwan. Setelah mengetahui tingkat variabilitas produk dan menetapkan perbedaan intensitas atribut yang ingin dideteksi, peneliti dapat menghitung jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mendeteksi perubahan mutu produk yang secara statistik signifikan. Peneliti juga perlu mempertimbangkan dengan cermat keseimbangan antara sumber daya dan akurasi.

Pertimbangan Pemilihan Metode

Penentuan masa simpan (*shelf life*) merupakan elemen penting dalam manajemen mutu produk pangan. Masa simpan tidak hanya menjadi indikator ketahanan produk terhadap penurunan mutu, tetapi juga menjadi jaminan keamanan dan keandalan produk hingga waktu konsumsi. Metode pengujian masa simpan yang tepat sangat diperlukan untuk memastikan bahwa klaim tanggal kedaluwarsa yang tercantum pada label produk dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan memenuhi ketentuan peraturan yang berlaku. Dalam praktiknya, penentuan metode pengujian masa simpan dipengaruhi oleh berbagai pertimbangan, baik dari sisi teknis, regulasi, maupun strategi bisnis. Berikut ini adalah uraian komprehensif mengenai pertimbangan-pertimbangan tersebut.

Karakteristik Produk dan Mekanisme Kerusakan Dominan

Setiap produk pangan memiliki karakteristik yang unik, baik dari segi komposisi kimia, kadar air, aktivitas air, pH, hingga tipe kemasan dan metode prosesnya. Karakteristik ini sangat menentukan jenis kerusakan dominan yang akan dialami selama penyimpanan, yang pada gilirannya menentukan metode uji yang paling relevan.

Sebagai contoh, produk tinggi lemak seperti susu bubuk atau kacang-kacangan cenderung mengalami kerusakan akibat oksidasi lemak, sehingga pengujian masa simpannya dapat difokuskan pada penetapan nilai asam lemak bebas atau parameter TBA (*thiobarbituric acid*). Sebaliknya, produk dengan kadar air tinggi seperti jus buah atau salad segar lebih rentan terhadap pertumbuhan mikroorganisme, sehingga diperlukan uji mikrobiologis seperti *total plate count*, uji *coliform*, maupun deteksi spesifik bakteri patogen seperti *Listeria monocytogenes* atau *Salmonella* (Lee *et al*., 2021).

Selain itu, beberapa produk juga memerlukan uji sensori karena meskipun secara kimia atau mikrobiologi masih aman, produk mungkin mengalami penurunan rasa, tekstur, atau aroma. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang karakteristik produk menjadi pondasi utama dalam menentukan jenis pengujian yang diperlukan.

Target Pasar dan Ketentuan Regulasi

Pertimbangan selanjutnya adalah segmentasi pasar dan regulasi yang berlaku. Produk pangan yang dipasarkan secara lokal mungkin memiliki standar yang berbeda dengan produk yang ditujukan untuk ekspor. Misalnya, produk susu di Indonesia harus mengikuti ketentuan dari Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI), sementara produk serupa di Uni Eropa tunduk pada peraturan ketat dari European Food Safety Authority (EFSA).

Regulasi ini tidak hanya menentukan parameter yang harus diuji, tetapi juga mengatur tentang metode yang harus digunakan, termasuk penggunaan metode standar ISO, AOAC, atau metode lain yang tervalidasi. Oleh karena itu, pemahaman terhadap regulasi menjadi penting agar hasil pengujian masa simpan dapat diakui secara legal dan ilmiah, khususnya jika produk dipasarkan lintas negara (Ali *et al*., 2023).

Kondisi Penyimpanan dan Rantai Distribusi

Produk pangan akan melewati berbagai tahapan logistik sebelum sampai ke konsumen, mulai dari distribusi, penyimpanan di gudang, transportasi, hingga penempatan di rak ritel. Pada setiap tahap tersebut, kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan paparan cahaya bisa sangat bervariasi, terutama untuk produk yang membutuhkan rantai dingin (*cold chain*) seperti daging, susu, atau buah segar. Fluktuasi suhu sekecil apa pun dapat mempercepat pertumbuhan mikroba, mempercepat oksidasi, atau merusak tekstur dan rasa. Karena itu, uji masa simpan tidak cukup dilakukan dalam kondisi ideal di laboratorium, tetapi perlu mempertimbangkan skenario distribusi yang lebih realistis.

Beberapa perusahaan kini menggunakan pendekatan simulasi rantai dingin untuk memodelkan perubahan suhu yang mungkin terjadi selama penyimpanan dan distribusi. Hasil simulasi ini kemudian dijadikan dasar penyesuaian uji masa simpan, sehingga prediksi yang dihasilkan lebih akurat. Pendekatan ini terbukti efektif, terutama untuk produk segar yang sensitif, sekaligus membantu perusahaan menentukan strategi logistik yang tepat, seperti pemilihan kemasan, pengaturan suhu transportasi, hingga batas waktu distribusi yang aman (Martínez *et al*., 2022).

Ketersediaan Waktu dan Sumber Daya

Dalam praktik industri, pengembangan produk baru sering dibatasi oleh waktu. Uji masa simpan konvensional yang dapat memakan waktu berbulan-bulan seringkali tidak sejalan dengan siklus pengembangan produk yang cepat. Oleh karena itu, metode percepatan atau *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) digunakan untuk mempercepat estimasi masa simpan dengan meningkatkan suhu atau kelembapan penyimpanan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa reaksi kerusakan (baik kimia maupun mikrobiologis) meningkat seiring naiknya suhu (Ali *et al*., 2023).

Meski ASLT mampu menghemat waktu, metode ini membutuhkan model matematis yang valid agar hasilnya bisa diekstrapolasi dengan akurat ke kondisi penyimpanan normal. Selain itu, keterbatasan laboratorium dan biaya juga menjadi pertimbangan. Oleh karena itu, industri kecil menengah (UKM) sering mengandalkan metode yang lebih sederhana seperti pengamatan sensori dan pengujian mikrobiologi dasar yang dapat dilakukan di laboratorium mitra atau universitas.

Kemajuan Teknologi dan Inovasi Metode Cepat

Seiring kemajuan teknologi, banyak metode pengujian cepat yang mulai dikembangkan dan diterapkan, baik untuk deteksi mikroba, oksidasi, maupun perubahan mutu fisik produk. Beberapa teknologi terbaru yang menjanjikan antara lain:

- Bioluminesensi ATP, untuk mengukur keberadaan mikroba aktif dalam waktu singkat
- PCR dan ELISA, untuk deteksi spesifik mikroorganisme patogen
- Spektroskopi (FTIR, NIR, dan Raman), untuk analisis non-destruktif pada parameter kimia atau fisik
- *Intelligent packaging* yang mengintegrasikan sensor suhu, pH, atau kelembapan untuk memantau kondisi produk selama distribusi (Ziyaina *et al*., 2020; Mohammad *et al*., 2021).

Inovasi lain termasuk penggunaan model prediktif berbasis AI atau *machine learning* yang mampu memperkirakan masa simpan berdasarkan data historis produk dan parameter lingkungan. Metode ini menjadi sangat relevan dalam era digitalisasi sistem pangan.

Pertimbangan lain yang harus diperhatikan saat melakukan studi masa simpan:

a Pembuatan Produk Uji

- Bahan-bahan dan proses pembuatan produk uji harus dilakukan dalam kondisi standar sehingga menghasilkan produk yang identik (atau sedekat mungkin identik) dengan produk yang sedang diproduksi untuk dijual.
- Produk yang diuji harus dikemas dalam kondisi yang sama seperti saat akan dijual (misalnya kemasan udara, kemasan atmosfer termodifikasi (MAP), kemasan vakum (VP), kaleng kedap udara, dll.).
- Dalam sebuah eksperimen, jumlah produk yang cukup harus digunakan agar memungkinkan pengujian pada beberapa titik waktu sepanjang umur simpan yang diusulkan jika diperlukan. Namun, mungkin tidak perlu melakukan pengujian di beberapa titik waktu, misalnya jika umur simpan sangat singkat.
- Sampel ulangan yang cukup harus digunakan untuk memastikan tingkat kontaminasi awal yang representatif.
- Penyimpanan produk harus mencerminkan kondisi terburuk yang wajar untuk meniru kondisi yang mungkin terjadi dalam kenyataan.
- Pengujian harus dilakukan melebihi umur simpan yang diperkirakan untuk menunjukkan margin kesalahan.
- Menguji beberapa produk dari lebih dari satu produksi pada setiap kesempatan pengambilan sampel akan meningkatkan kepercayaan terhadap validitas studi daya tahan.

b Produk Saat dalam Pengendalian Komersial

Produk dalam pengendalian komersial merujuk pada produk pangan yang telah diproduksi dengan kondisi dan prosedur standar perusahaan (bukan hanya produk uji laboratorium atau skala pilot). Produk ini sudah melalui proses rutin industri, termasuk formulasi, proses pengolahan, sistem pengemasan, dan penyimpanan awal sebelum dilepas ke pasar. Dengan kata lain, studi masa simpan sebaiknya dilakukan pada produk yang benar-benar merepresentasikan kondisi komersial yang sesungguhnya, karena inilah yang nantinya akan didistribusikan dan dikonsumsi. Sebagai contoh, uji masa simpan sebaiknya dilakukan pada susu yang diproduksi di lini industri dengan volume besar, menggunakan peralatan pengisian komersial, dan disimpan dalam rantai dingin standar. Hasil uji ini akan lebih akurat dibanding hanya menguji susu hasil pasteurisasi skala laboratorium.

Mengapa produk yang diuji harus yang diproduksi dengan standar komersial?

a. Relevansi hasil uji

Jika hanya menggunakan sampel skala laboratorium atau uji coba kecil, hasilnya bisa berbeda dengan kondisi nyata di pabrik. Faktor seperti variasi batch, kecepatan pendinginan, atau jenis kemasan massal bisa memengaruhi umur simpan.

b. Konsistensi mutu

Produk komersial menunjukkan variabilitas nyata (antar batch produksi, antar pemasok bahan baku). Data masa simpan dari kondisi ini akan lebih mencerminkan mutu yang benar-benar diterima konsumen.

c. Kesesuaian regulasi

Otoritas pangan biasanya meminta bukti bahwa klaim masa simpan didasarkan pada produk dalam kondisi komersial, bukan hanya prototipe. Hal ini untuk memastikan klaim benar-benar valid dan tidak menyesatkan konsumen.

C Produk Saat dalam Pengendalian Konsumen

Pengujian masa simpan tidak cukup hanya memperhitungkan kondisi produksi, penyimpanan, dan distribusi, tetapi juga harus mencakup fase akhir ketika produk berada dalam pengendalian konsumen. Pada tahap ini, pola penyimpanan dan penggunaan produk sering kali bervariasi dan tidak selalu sesuai dengan instruksi ideal pada label. Oleh karena itu, pengujian perlu mensimulasikan skenario realistis yang menggambarkan bagaimana konsumen biasanya memperlakukan produk pangan di rumah. Sebagai contoh, produk rantai dingin dapat mengalami periode tertentu di luar pendinginan, misalnya selama perjalanan dari toko ke rumah, sehingga mungkin terpapar suhu ruang selama 1–2 jam sebelum kembali dimasukkan ke lemari pendingin. Variasi kecil ini sangat penting karena dapat memengaruhi pertumbuhan mikroba.

Selain itu, kondisi penyimpanan konsumen juga harus diuji sesuai situasi yang wajar dan dapat diperkirakan. Jika label mencantumkan bahwa produk harus disimpan dalam kondisi dingin, pengujian tidak boleh hanya menggunakan standar ideal ≤5°C, melainkan harus memperhitungkan fakta bahwa suhu rata-rata lemari es rumah tangga sering berada pada kisaran 7–8°C, bahkan lebih tinggi pada kompartemen tertentu. Hal ini sesuai dengan rekomendasi Food Standards Agency (FSA, 2023) yang menekankan pentingnya menyesuaikan pengujian dengan praktik konsumen nyata. Dengan demikian, asumsi yang terlalu ideal tidak boleh digunakan, karena dapat menyesatkan dalam menetapkan masa simpan.

Validasi dan Verifikasi Masa Simpan

1 Validasi

Validasi dalam penetapan masa simpan merupakan proses ilmiah yang sangat penting dan diakui secara internasional untuk memastikan bahwa produk pangan tetap memenuhi standar mutu dan keamanan selama periode penyimpanan yang ditetapkan. Proses ini melibatkan serangkaian pengujian, pemantauan, dan analisis yang dirancang untuk membuktikan bahwa tanggal "*use by*" atau "*best before*" yang dicantumkan pada label produk benar-benar didasarkan pada data ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan. Pendekatan validasi ini menjadi landasan bagi pelaku usaha pangan (FBO) dalam membenarkan dan mempertahankan klaim masa simpan produk mereka di hadapan konsumen maupun otoritas pengawas.

Setiap FBO diwajibkan untuk melakukan validasi dan mendokumentasikan masa simpan produk sebagai bagian integral dari sistem manajemen keamanan pangan sebelum produk dipasarkan. Validasi masa simpan meliputi kombinasi prosedur, pengujian laboratorium, serta penelitian yang relevan untuk menetapkan masa simpan yang sesuai. Seluruh proses validasi, mulai dari desain pengujian hingga hasil akhir, harus didokumentasikan secara rinci dan disimpan sebagai bukti ilmiah yang dapat diaudit. Dokumentasi ini tidak hanya menjadi dasar penetapan masa simpan, tetapi juga berfungsi sebagai alat evaluasi jika terjadi perubahan pada formulasi, proses produksi, atau kondisi distribusi yang dapat memengaruhi stabilitas produk.

Penting untuk dipahami bahwa tanggal "*best before*" lebih menekankan pada aspek mutu produk, bukan pada aspek keamanan pangan. Oleh karena itu, FBO harus menggunakan metode pengujian yang tepat untuk menentukan kapan mutu produk mulai menurun, seperti uji sensori, analisis kimia, atau pengujian fisik. Sementara itu, untuk produk dengan risiko mikrobiologi, validasi masa simpan harus mencakup pengujian mikrobiologi guna memastikan keamanan produk hingga akhir masa simpannya. Dengan demikian, validasi yang komprehensif dan berbasis data ilmiah sangat penting untuk melindungi konsumen sekaligus menjaga reputasi dan kepercayaan terhadap produk pangan di pasaran.

2 Verifikasi

Kegiatan verifikasi masa simpan merupakan langkah penting yang dilakukan setelah produk beredar di pasar. Tujuan utamanya adalah memastikan bahwa masa simpan yang telah ditetapkan benar-benar mencerminkan kondisi riil selama penyimpanan dan distribusi, serta mampu mengendalikan potensi bahaya yang telah diidentifikasi sebelumnya, seperti pertumbuhan mikroorganisme atau perubahan mutu. Salah satu bentuk verifikasi yang umum dilakukan adalah dengan menyimpan sampel produk hingga hari terakhir masa simpannya, lalu diuji untuk memastikan bahwa parameter mutu dan keamanan, terutama kriteria mikrobiologinya masih berada dalam batas yang diizinkan. Proses ini membantu produsen memastikan bahwa produk tetap aman dikonsumsi hingga akhir masa simpannya.

Jika hasil verifikasi menunjukkan secara konsisten bahwa produk tetap stabil dan aman hingga hari terakhir masa simpannya, pelaku usaha pangan (*Food Business Operator*/FBO) dapat mempertimbangkan untuk mengurangi frekuensi verifikasi di periode berikutnya. Ini tidak hanya menghemat biaya dan tenaga, tetapi juga menunjukkan bahwa sistem pengendalian mutu internal sudah bekerja dengan baik. Meski begitu, pengurangan frekuensi verifikasi tidak boleh serta-merta dilakukan tanpa dasar yang kuat. FBO tetap perlu melakukan pemantauan rutin dan harus siap meninjau ulang masa simpan jika ada perubahan signifikan, seperti reformulasi produk, perubahan bahan baku, modifikasi proses produksi, atau kondisi distribusi yang berbeda dari sebelumnya. Dalam konteks ini, fleksibilitas dan kehati-hatian sangat diperlukan agar keputusan bisnis tidak mengorbankan aspek keamanan pangan.

Di era teknologi saat ini, verifikasi masa simpan semakin terbantu dengan hadirnya berbagai inovasi. Metode seperti *kinetic modelling*, pemantauan berbasis sensor *real-time*, dan penggunaan kecerdasan buatan memungkinkan prediksi masa simpan yang lebih akurat dan responsif terhadap berbagai kondisi penyimpanan. Data dari uji laboratorium di berbagai suhu, kelembapan, atau kondisi pencahayaan bisa digunakan untuk memodelkan perubahan mutu produk secara lebih detail. Dengan menggabungkan data ilmiah dan analisis statistik yang kuat, FBO tidak hanya bisa memverifikasi masa simpan dengan lebih efisien, tetapi juga meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap mutu dan keamanan produk mereka. Hal ini menjadikan verifikasi masa simpan sebagai bagian integral dari komitmen industri pangan terhadap transparansi dan tanggung jawab.

Menentukan masa simpan pangan bukan sekadar soal waktu, tetapi tentang ketepatan dalam memilih metode, kecermatan dalam menetapkan parameter uji, dan pemahaman terhadap karakteristik produk yang diuji. Pengetahuan yang menyeluruh tentang berbagai metode pengujian masa simpan, baik secara konvensional maupun percepatan, serta pertimbangan yang matang dalam memilih metode yang sesuai, akan sangat menentukan akurasi hasil yang diperoleh.

Dengan pemahaman tersebut, kita dapat meminimalisir potensi kesalahan dalam pendugaan masa simpan, sehingga produk yang dihasilkan tidak hanya aman dan bermutu, tetapi juga dapat dipercaya oleh konsumen hingga titik akhir distribusinya.

Praktik Pengujian Masa Simpan

"Memahami tahapan-tahapan pengujian masa simpan suatu produk pangan sangat penting untuk menghindari kesalahan prosedur dan kesalahan dalam menarik kesimpulan prediksi masa simpan, sehingga hasil pengujian dapat dipercaya dan digunakan sebagai acuan dalam menjamin keamanan dan mutu produk."

Di sebuah perusahaan pangan bernama PT VitaNatura, seorang ahli senior bernama Andi Prasetyo tengah menghadapi salah satu tantangan terbesar dalam kariernya yang hampir sepuluh tahun di bidang teknologi pangan modern yang penuh dinamika. Andi dipercaya untuk menentukan masa simpan sebuah minuman buah alami bernama VitaTropica. Minuman ini terbuat dari campuran markisa, nanas, dan jeruk keprok segar pilihan, tanpa tambahan bahan pengawet sintetis, pemanis buatan, atau pewarna tambahan apa pun, sehingga benar-benar menekankan produk alami untuk kesehatan konsumen. Di laboratorium perusahaan, Andi bekerja bersama tim yang penuh semangat, menyiapkan berbagai uji untuk memastikan mutu produk tetap terjaga.

Produk minuman yang sedang dikembangkan tidak mudah rusak karena telah melalui proses sterilisasi termal yang dirancang cermat, mematikan mikroorganisme tanpa merusak mutu rasa dan warna alaminya. Dikemas dalam botol kaca steril, VitaTropica memancarkan warna merah oranye yang cerah, dengan aroma buah tropis yang menyegarkan dan rasa manis-asam yang memikat lidah siapa pun yang mencobanya. Bagi Andi, ini bukan sekadar produk, melainkan representasi inovasi yang ingin menghadirkan pangan alami dan sehat bagi konsumen urban yang semakin peduli pada komposisi produk dan penerapan konsep keberlanjutan dalam gaya hidup sehari-hari mereka.

Meski sambutan awal terhadap minuman ini cukup menggembirakan, baik dari tim sensori internal maupun panel uji konsumen terbatas, muncul pertanyaan penting dari CEO perusahaan, Bapak Suryo. “Andi, teknologi sterilisasi ini hebat. Tapi pertanyaannya bukan cuma apakah produk aman, namun sampai kapan produk ini bisa tetap prima di rak toko dan tetap memikat rasa?” Pertanyaan itu menghentak Andi. Ia tahu betul, kesuksesan peluncuran produk tidak hanya bergantung pada rasa atau kemasan, tetapi juga pada keyakinan bahwa produk tetap konsisten selama periode distribusi dan penyimpanan.

Dengan penuh tanggung jawab, Andi menyusun rencana pengujian yang terukur. Ia mulai menguji produk pada berbagai suhu simpan: suhu ruang, pendingin, dan suhu tinggi daerah tropis. Ia mengamati perubahan warna, kestabilan pH, dan penurunan senyawa volatil yang menjadi penentu aroma khas buah. Ia menyadari bahwa pengujian ini bukan hanya soal memenuhi persyaratan regulasi, tapi juga untuk melindungi reputasi rasa segar dan alami dari VitaTropica. Ia mencatat bahwa rasa segar mulai memudar setelah hari ke-40, meski kadar mikrobiologis masih aman. Dalam hati kecilnya, Andi tahu bahwa mempertahankan rasa adalah bagian dari menjaga kejujuran produk kepada konsumen setia yang mempercayakan pilihan sehat pada VitaTropica.

Saat rapat lintas departemen digelar, diskusi memanas. Pak Dimas dari pemasaran ingin memperpanjang masa simpan menjadi 60 hari agar produk lebih fleksibel secara logistik. Bu Mira dari tim produksi khawatir klaim "tanpa bahan pengawet" akan sulit dipertahankan jika ada desakan untuk memperpanjang daya simpan lewat rekayasa formula. Sementara Pak Andri dari bagian keuangan menghitung selisih keuntungan antara masa simpan 45 dan 60 hari. Andi mendengarkan dengan tenang, lalu memaparkan temuannya secara sistematis. Ia menunjukkan bahwa meski produk tetap aman hingga hari ke-60, karakteristik utama produk yaitu aroma buah segar, keseimbangan rasa asam-manis, dan kejernihan warna mulai berubah signifikan pada hari ke-45. "Kalau kita jual produk alami," ujarnya, "kita juga harus berani mempertahankan mutu alami itu sampai tetes terakhir di tangan konsumen."

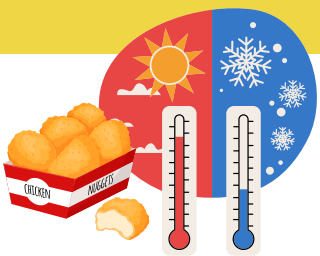
Sejenak ruangan hening, hanya terdengar suara pendingin ruangan yang berdesis halus. Beberapa peserta rapat mulai mengangguk, menyadari bahwa argumen Andi tidak sekadar teknis, melainkan menyentuh esensi kepercayaan konsumen. Pak Dimas menatap lembar presentasi dengan wajah serius, lalu berkata pelan, "Mungkin benar, loyalitas konsumen lebih berharga dari fleksibilitas logistik." Bu Mira tersenyum lega, sementara Pak Andri menutup kalkulatornya dengan berat hati, tetapi memahami arah keputusan. Akhirnya, setelah perdebatan yang cukup panjang dan pertimbangan multidisiplin, perusahaan menetapkan masa simpan 45 hari. Keputusan ini bukan yang paling efisien secara logistik, namun dianggap paling jujur terhadap konsumen dan paling selaras dengan nilai inti perusahaan: keaslian dan integritas.

Walaupun produk aman dikonsumsi hingga 60 hari atau lebih, persepsi konsumen terhadap mutu sensori bisa menurun lebih cepat. Oleh karena itu, angka 45 hari dipilih sebagai batas konservatif, mempertimbangkan perubahan rasa seperti asam yang memudar, perubahan warna alami akibat oksidasi, serta penurunan aroma segar akibat senyawa volatil yang menguap atau terdegradasi selama penyimpanan.

Bagi Andi, melihat label "Baik digunakan sebelum: 20 November 2025" pada botol VitaTropica bukan sekadar rutinitas teknis. Di balik satu tanggal itu, tersimpan proses panjang, ketelitian, dan tanggung jawab ilmiah yang menyatu dengan pertimbangan bisnis. Label itu adalah bentuk komunikasi diam antara produsen dan konsumen, bahwa apa yang Anda minum hari ini adalah hasil dari ilmu pengetahuan, ketulusan, dan komitmen menjaga kepercayaan publik.

Pendekatan Persamaan Arrhenius

Kriteria Pemilihan Metode



Model pendugaan masa simpan dengan metode ini tepat jika digunakan pada produk yang sensitif atau mudah mengalami kerusakan karena peningkatan suhu penyimpanan produk pangan.

Model pendekatan pendugaan masa simpan dengan metode empiris persamaan Arrhenius biasanya juga tepat digunakan untuk produk-produk yang mudah rusak diakibatkan terjadinya reaksi kimia (reaksi oksidasi, reaksi maillard, denaturasi protein dan lainnya). Hal ini karena secara umum, reaksi kimia dapat terjadi lebih cepat ketika terjadi peningkatan suhu. Dan persamaan Arrhenius mampu menggambarkan korelasi antara perubahan parameter mutu produk terhadap suhu penyimpanan. Persamaan Arrhenius juga bisa digunakan untuk memprediksi percepatan kerusakan produk ketika disimpan disuhu yang lebih ekstrim. Metode ini juga tepat untuk pengujian produk yang memiliki potensi masa simpan cukup panjang. Percepatan kerusakan produk dilakukan dengan meningkatkan suhu lingkungan percobaan.

Persiapan Pendahuluan

A. Pendefinisian Karakter atau mutu produk

1. Pendefinisian karakteristik atau faktor khas/unik (perubahan mutu disimbolkan dengan nilai Q) yang menjadi penentu mutu produk. Setiap produk memiliki faktor pembeda masing-masing yang mungkin berbeda satu sama lain. Jenis kerusakan yang terjadi pada berbagai produk pangan tertera pada Tabel 4.

2. Penentuan kondisi mutu awal (Qo) , saat produk baru saja di produksi.

3. Penentuan batas mutu kritis (Qs), yaitu batas mutu minimum yang diharapkan atau dijanjikan ke konsumen sesuai dengan definisi masa simpan atau batas kadaluwarsa. Batas mutu kritis atau batas mutu minimum menyatakan dengan jelas bahwa jika produk telah melewati masa tersebut maka produk menjadi tidak layak jual atau telah kedaluwarsa.

Produk pangan memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda tergantung pada jenis bahan. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. jenis kerusakan yang terjadi pada berbagai produk pangan

Produk	Mekanisme Kerusakan	Faktor Kritis Penyebab Produk Kedaluwarsa
A. Buah dan aneka produknya		
Aneka buah	Reaksi enzimatis Pertumbuhan kapang Kehilangan air	Pengempukan tekstur Terlihat adanya kapang Kenampakan kering
Kentang	Reaksi enzimatis Perkecambahan	Pengempukan tekstur Berkecambah, produksi toksin
Ketimun	Reaksi enzimatis	Kehilangan tekstur renyah (pengempukan)
Salad sayur / buah	Kehilangan air Oksidasi lemak	Kehilangan kekentalan saus, perubahan kenampakan, pertumbuhan mikroba Kehilangan kerenyahan Ketengikan
Buah/Sayur kering	Reaksi enzimatis Penyerapan air	Perubahan warna (pencokelatan) Kehilangan kerenyahan
B. Bijian dan produk kering lainnya		
Rerotian	Retrogradasi pati Migrasi air	Tekstur menjadi keras dan kering Terjadi pertumbuhan kapang
Jajanan ringan	Menyerap air Oksidasi	Kehilangan tekstur renyah Tengik
Kue	Kehilangan air Perubahan struktur pati Pertumbuhan mikroba	Tekstur mengeras Permukaan mengering Pertumbuhan kapang
Pasta kering	Perubahan pati Perubahan protein	Perubahan tekstur, pecah, dan mengeras
Sereal sarapan	Migrasi air Retrogradasi pati Oksidasi	Kehilangan tekstur renyah (untuk sereal) Terjadi pengerasan (untuk komponen buah; jika ada) Tengik

Rempah-rempah	Pertumbuhan mikroba Kehilangan senyawa volatil Terjadi reaksi kimia	Pertumbuhan kapang Perubahan flavor Warna memudar
Confectionary / permen cokelat	Migrasi lemak Oksidasi	Kristalisasi lemak (*bloom*) Perubahan tekstur Tengik
Confectionary / permen gula	Penyerapan air Oksidasi	Perubahan tekstur Tengik
C. Daging dan produk daging		
Daging merah	Oksidasi Pertumbuhan mikroba	Kehilangan warna merah, tengik Terjadi bau menyimpang
Daging beku	Oksidasi Sublimasi es	Tengik *Freezer burn*
Ikan segar	Pertumbuhan mikroba Reaksi kimia	Pertumbuhan mikroba; bau menyimpang perubahan kenampakan
Daging unggas segar	Pertumbuhan mikroba	Pertumbuhan mikroba, bau menyimpang
D. Produk minuman		
Minuman berkarbonasi	Kehilangan gas Hidrolisis Oksidasi	Kehilangan karbonasi Kehilangan flavor, bau menyimpang, Tengik
Kopi	Kehilangan senyawa volatil Oksidasi	Perubahan flavor Tengik
Jus buah	Oksidasi Reaksi enzimatis	Kehilangan flavor Kekeruhan (*cloud instability*)
Teh	Kehilangan senyawa volatil Mengabsorpsi senyawa volatil	Kehilangan flavor Flavor menyimpang

Dimodifikasi dari Kilcast dan Subramaniam (2000)

B. Penentuan Karakter Kinetika Perubahan Faktor Mutu (Q) terpilih

Setelah ditetapkan faktor mutu (Q) perlu dilakukan percobaan penyimpanan untuk mengetahui bagaimana pola perubahan (ordo reaksi) dan seberapa cepat Q berubah terhadap waktu (t), serta bagaimana laju perubahan tersebut dipengaruhi oleh suhu. Selain informasi mengenai suhu, informasi mengenai kondisi-kondisi proses, penyimpanan dan distribusi, serta kondisi (tata cara) penggunaan oleh konsumen, terutama kondisi yang akan berpengaruh terhadap mutu produk, perlu diketahui dengan baik.

Untuk keperluan pendugaan masa simpan sering digunakan kondisi suhu penyimpanan terburuk (T tertinggi). Suhu yang dipilih harus mencerminkan kondisi nyata penyimpanan produk (misalnya suhu ruang, suhu dingin, atau suhu beku). Pilihan suhu juga perlu mempertimbangkan kebiasaan rantai pasok produk (apakah lebih banyak disimpan di rak, kulkas, atau freezer). Suhu harus mudah dikontrol dan direplikasi di laboratorium (misalnya menggunakan inkubator, ruang penyimpanan dilengkapi alat pengukur dan pengendali suhu).

Selain itu, percobaan percepatan masa simpan dengan persamaan Arrhenius sebaiknya dilakukan pada 4 suhu yang berbeda. Suhu penyimpanan bisa dilakukan lebih tinggi dari suhu normal dengan rentang waktu pengujian minimal 5 titik (1 titik awal penyimpanan, 3 titik tengah penyimpanan dan 1 titik akhir dimana produk diduga telah mengalami kerusakan). Untuk rekomendasi suhu pengujian masa simpan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penggunaan suhu pengujian masa simpan

Jenis Produk	Suhu Pengujian (^oC)	Suhu Kontrol *(^oC)
Makanan dalam kaleng	25, 30, 35, 40	4
Pangan kering	25, 30, 35, 40, 45	-18
Pangan dingin	5, 10, 15, 20	0
Pangan beku	-5, -10, -15	<-40

*Suhu kontrol adalah suhu penyimpanan produk yang mampu memberikan perubahan mutu sangat kecil

Sumber: Labuza dan Schmidl (1985)

Tahapan Penentuan Pendugaan Masa Simpan

Pendugaan masa simpan dengan pendekatan semi empiris menggunakan persamaan Arrhenius dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data perubahan mutu produk terhadap waktu.

2. Pengolahan data pertama dilakukan dengan membuat grafik antara perubahan mutu produk terhadap waktu.

3. Buat persamaan regresi liniernya (umumnya dalam persamaan **y = bx + a,** dimana y adalah perubahan mutu produk, x adalah lama/waktu penyimpanan, a adalah nilai mutu produk awal, dan b yang didapatkan dari slope atau bisa disebut k adalah laju perubahan mutu produk).

4.Penentuan ordo reaksi dengan menggunakan grafik model penurunan mutu terhadap waktu penyimpanan.

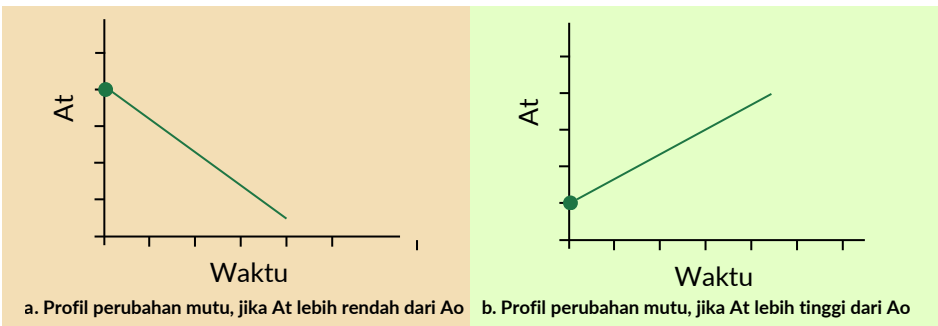
a. Grafik ordo nol

Grafik penurunan parameter mutu untuk ordo nol merupakan penurunan mutu yang konstan dan dapat digambarkan dengan persamaan berikut:

$$At - Ao = -kt$$

Dimana: At = Nilai parameter mutu pada waktu t , Ao = Nilai awal parameter mutu, k = laju perubahan mutu dan t = waktu penyimpanan

Hubungan antara parameter mutu dan waktu penyimpanan dapat divisualisasikan melalui grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 16.



a. Profil perubahan mutu, jika At lebih rendah dari Ao b. Profil perubahan mutu, jika At lebih tinggi dari Ao

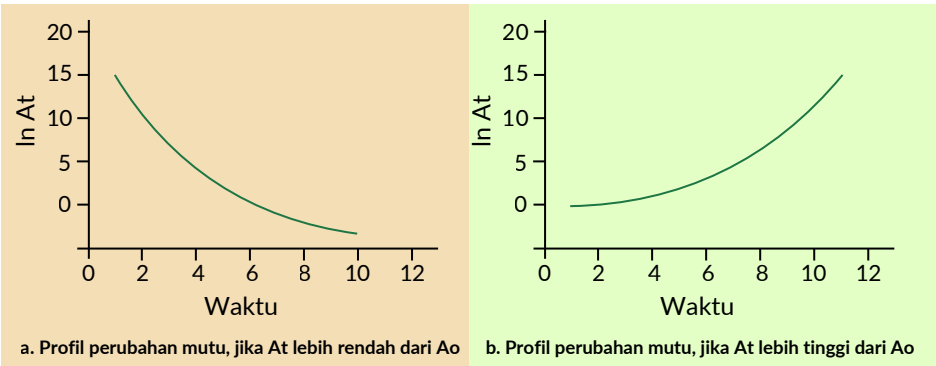
Gambar 16. Grafik hubungan antara perubahan parameter (At) mutu terhadap waktu penyimpanan pada reaksi ordo nol

b. Untuk grafik ordo satu

Grafik penurunan parameter mutu untuk ordo satu menggambarkan korelasi penurunan parameter mutu terhadap waktu digambarkan dengan persamaan:

$$\ln At - \ln Ao = -kt$$

Visualisasi dari model penurunan mutu ini dapat dilihat pada Gambar 17.



a. Profil perubahan mutu, jika At lebih rendah dari Ao

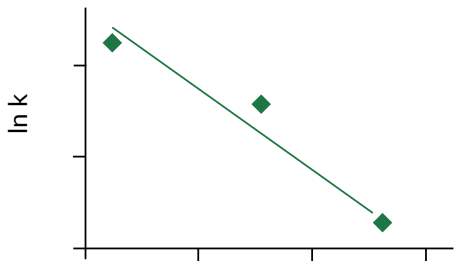
b. Profil perubahan mutu, jika At lebih tinggi dari Ao

Gambar 17. Grafik hubungan antara perubahan parameter (ln At) mutu terhadap waktu penyimpanan pada reaksi ordo nol

5. Pemilihan ordo reaksi yang paling berpengaruh dengan melihat **nilai R^2 (diambil nilai yang terbesar).**

6. Pembuatan grafik korelasi laju penurunan mutu produk terhadap suhu penyimpanan dengan menggunakan pendekatan Arrhenius. Grafik tersebut dibuat dengan munghubungkan nilai **ln k terhadap 1/T.**

7. Pembuatan persamaan regresi linier dengan pendekatan persamaan **$\ln k = \ln k_0 - (E/R)\,(1/T)$,** dimana ln k_0 = intersep, E/R = slope, E = energi aktivasi dan R =konstanta gas ideal = 1, 986 kal/molK. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik hubungan antara ln k dengan 1/T pada persamaan Arrhenius

8. Penentuan nilai k_0 dan nilai **E=Ea** didapatkan dari grafik pada tahap 7.

9. Perhitungan konstanta Arrhenius dengan menggunakan persamaan
$k = k_0.e^{-E/RT}$ persamaan ini bisa diubah dalam bentuk ln menjadi
$\ln k = \ln k_0 - (E/R)(1/T)$
Note: berdasarkan persamaan diatas, maka dapat dilihat bahwa semakin besar nilai energi aktivasi maka nilai laju reaksi semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

10. Penentuan parameter yang paling berpengaruh terhadap penurunan mutu produk (kunci) dengan bisa dilakukan dengan melihat parameter yang memiliki nilai energi aktivasi paling rendah. Nilai energi aktivasi didapatkan pada tahap 7. Pertimbangan ini akan tepat jika nilai perubahan mutu (No-Nt) antar parameter yang diuji tidak terlalu jauh berbeda.

11. Perhitungan pendugaan *shelf life* dengan persamaan
- Persamaan untuk laju reaksi ordo nol
  ts = (No-Nt)/k ..... jika nilai mutu awal lebih besar dari mutu kritis
  ts = (Nt-No)/k ..... jika nilai mutu kritis lebih besar dari mutu awal
- Persamaan untuk laju reaksi ordo satu
  ts = ln(No-Nt)/k ..... jika nilai mutu awal lebih besar dari mutu kritis
  ts = ln(Nt-No)/k ..... jika nilai mutu kritis lebih besar dari mutu awal

dimana:
ts = waktu prediksi masa simpan, No = nilai parameter mutu awal sesaat setelah pengemasan. Nt= nilai parameter mutu setelah waktu penyimpanan t (batas mutu kritis) dan k = laju perubahan mutu

Note: Berdasarkan persamaan diatas, maka logika umumnya adalah bahwa **semakin besar nilai laju reaksi (k) semakin kecil prediksi masa simpan (ts),** begitu pula sebaliknya. Namun logika tersebut bisa saja tidak berlaku ketika dilakukan perbandingan 2 atau lebih parameter mutu yang ternyata memiliki selisih nilai Nt dan No yang berbeda sangat jauh. Sebagai contoh, ketika dilakukan pengujian suatu produk dengan 2 parameter (TPC dan kadar air), didapatkan hasil bahwa paramater mutu A (misal nilai TPC) memiliki nilai k lebih besar dibandingkan dengan nilai k paramater mutu B (misal kadar air). Secara logika persamaan perhitungan masa simpan dengan Arrhenius maka nilai prediksi masa simpan akan lebih singkat pada parameter mutu A. Tetapi logika tersebut menjadi tidak berlaku ketika selisih penurunan nilai mutu (Nt-No) parameter TPC jauh lebih besar dibanding penurunan nilai mutu (Nt-No) parameter kadar air. Hasil perhitungan pada kondisi tersebut memungkinkan untuk mendapatkan nilai prediksi masa simpan parameter mutu TPC lebih lama.

Contoh Praktik Pengujian

Suatu perusahaan pangan yang bergerak dibidang pangan olahan beku memiliki produk makanan yaitu nugget ayam. Dibuat tanpa pengawet dalam kemasan komposit nilon 15µm/LLDPE 50µm disimpan dalam kondisi beku. Perusahaan akan melakukan pengujian masa simpan dengan tahapan sebagai berikut:

Penentuan Mutu Kritis (Critical Quality Determination)

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi atau titik kritis di mana produk mencapai batas mutu yang tidak dapat diterima konsumen. Hal ini membantu dalam menentukan masa simpan produk, yaitu ketika produk tidak lagi memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan. Dalam hal ini kita akan menggunakan data penelitian yang dilakukan oleh **Rohaya *et al* (2023),** dimana mutu kritis ditandai dengan nilai Total Plate Count dan kadar air. Berdasarkan referensi tersebut, batas kritis Total Plate Count (TPC) pada nugget ayam dalam kemasan komposit nilon 15µm/LLDPE 50µm adalah **$9{,}91\times10^3$ cfu/g**, sedangkan batas kritis kadar air adalah **60,30%.** Hasil ini akan digunakan sebagai nilai batas kritis penentuan masa simpan (Nt).

Jika tidak ditemukan referensi pendukung batas mutu, maka perlu dilakukan pengujian awal pendahuluan dengan metode sensori. Tahapan penentuan batas dengan pendekatan sensori dilakukan dengan tahapan:

- **Penentuan Atribut Sensori**
  - Pilih atribut yang paling relevan dengan mutu dan penerimaan konsumen, seperti warna, aroma, rasa, tekstur, dan *overall acceptability*. Atribut ini dapat disesuaikan dengan jenis produk pangan yang diuji, misalnya pada daging olahan atau produk nabati, atribut seperti *juicy*, aroma daging, *aftertaste*, dan tekstur sangat penting.
- **Rekrutmen dan Kriteria Panelis**
  - Panelis dapat berupa panelis terlatih (*trained panel*) untuk uji deskriptif atau panelis konsumen untuk uji hedonik/*acceptance*.
  - Kriteria umum panelis: sehat, tidak memiliki alergi terhadap produk, mampu membedakan atribut sensori, dan bersedia mengikuti pelatihan singkat jika diperlukan.
  - Jumlah panelis: Untuk uji deskriptif, biasanya 8–12 panelis terlatih sudah memadai. Untuk uji hedonik, 20–50 panelis konsumen umum dapat digunakan, namun jumlah 10–20 panelis juga dapat memberikan hasil yang stabil untuk metode *rapid profiling*.

- **Pelaksanaan Uji Sensori**

Panelis diminta untuk menilai sampel pada interval waktu tertentu selama penyimpanan. Penilaian bisa menggunakan skala (misal: 1–9 untuk hedonik, atau skala intensitas untuk deskriptif). Adapun tiap skor memiliki makna:

1: Amat Sangat Tidak Suka (*Disklike Extremely*): Panelis sangat tidak menyukai produk tersebut.
2: Sangat Tidak Suka (*Dislike Very Much*): Panelis tidak menyukai produk tersebut.
3: Tidak Suka (*Dislike Moderately*): Panelis cenderung tidak menyukai produk tersebut, namun tidak terlalu kuat.
4: Agak Tidak Suka (*Dislike Slightly*): Panelis agak tidak menyukai produk tersebut, dengan intensitas rendah.
5: Netral (*Neither Like nor Dislike*): Panelis tidak memiliki preferensi, suka maupun tidak suka terhadap produk tersebut.
6: Agak Suka (*Like Slightly*): Panelis cenderung menyukai produk tersebut, namun tidak terlalu kuat.
7: Suka (*Like Moderately*): Panelis menyukai produk tersebut dengan tingkat sedang.
8: Sangat Suka (*Like Very Much*): Panelis sangat menyukai produk tersebut.
9: Amat Sangat Suka (*Like Extremely*): Panelis menyukai produk tersebut dengan intensitas yang sangat tinggi.

Batas sensori ditentukan saat rata-rata skor panelis untuk atribut kunci (misal, *overall acceptability*) turun di bawah nilai ambang yang telah ditetapkan (misal, skor 5 dari 9 untuk "netral")

Sampel yang tidak diterima oleh panelis dilakukan pengujian nilai parameter mutunya dengan tiga ulangan.
Nilai parameter mutu tersebut yang dianggap sebagai batas kritis mutu produk.

Penentuan Suhu Penyimpanan dan Interval Pengujian

Penentuan tiga suhu penyimpanan (suhu *freezer*, *chiller*, dan ruang) serta interval waktu pengujian sangat penting untuk mendapatkan data kinetika yang akurat dalam pengujian masa simpan produk beku dengan metode Arrhenius. Suhu dipilih untuk merepresentasikan kondisi aktual, *chiller*, dan akselerasi, sedangkan interval waktu disesuaikan dengan laju kerusakan pada masing-masing suhu.

- **Suhu *Freezer* (Beku)**: Biasanya -18°C atau -20°C, sesuai standar penyimpanan produk beku secara komersial dan untuk merepresentasikan kondisi aktual distribusi dan penyimpanan. Interval pengujian bisa setiap 1–3 bulan, karena perubahan mutu sangat lambat.
- **Suhu *Chiller***: Umumnya 2°C hingga 5°C, untuk mensimulasikan penyimpanan di lemari pendingin (chiller) yang sering terjadi pada rantai distribusi atau konsumen. Interval pengujian bisa lebih rapat, misal setiap 1–2 minggu, karena laju kerusakan lebih cepat dibanding suhu beku.
- **Suhu Ruang:** Sekitar 25°C hingga 27°C, digunakan sebagai suhu akselerasi untuk mempercepat reaksi kerusakan sehingga data kinetika dapat diperoleh lebih cepat. Interval pengujian umumnya sangat rapat, misal setiap beberapa jam dalam 1-2 hari. Hal ini karena kerusakan terjadi sangat cepat.

Penentuan jumlah minimal titik pengambilan sampel (*sampling points*) pada interval waktu pengujian dengan metode Arrhenius sangat penting untuk memastikan data kinetika yang akurat dalam estimasi masa simpan. Secara umum, minimal diperlukan 3–4 titik data pada setiap suhu penyimpanan untuk membangun kurva kinetika yang dapat diandalkan. Titik pengambilan sampel yang lebih banyak (misal 5–6 titik) akan meningkatkan akurasi model. Intinya, lebih banyak titik akan memberikan hasil yang lebih akurat. Pastikan interval waktu disesuaikan dengan laju kerusakan produk pada masing-masing suhu.

Lakukan pengujian mutu pada beberapa suhu untuk mendapatkan data perubahan parameter kritis selama penyimpanan.

Untuk menentukan masa simpan nugget ayam, dilakukan pengujian mutu pada beberapa suhu penyimpanan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh data perubahan dua parameter kritis selama masa simpan, yaitu Total Plate Count (TPC) dan kadar air. Kedua parameter ini dipilih karena memiliki peran penting dalam menentukan mutu mikrobiologis dan fisik produk selama penyimpanan.

Total Plate Count (TPC) merupakan indikator jumlah total mikroorganisme hidup yang terdapat dalam produk. Peningkatan nilai TPC selama penyimpanan dapat menunjukkan terjadinya pertumbuhan mikroba yang berpotensi menyebabkan penurunan mutu dan keamanan pangan. Oleh karena itu, pemantauan TPC secara berkala sangat penting untuk memastikan produk tetap aman dikonsumsi hingga akhir masa simpannya.

Sementara itu, kadar air merupakan salah satu faktor yang memengaruhi stabilitas dan ketahanan produk terhadap kerusakan mikrobiologis dan kimia. Perubahan kadar air selama penyimpanan dapat terjadi akibat migrasi uap air atau proses degradasi struktural, yang pada akhirnya dapat memengaruhi tekstur dan masa simpan produk.

Pengujian dilakukan pada tiga kondisi suhu, yaitu suhu ruang (25°C), suhu *chiller* (5°C), dan suhu *freezer* (-18°C), untuk mengamati bagaimana suhu mempengaruhi laju perubahan parameter-parameter tersebut. Kondisi penyimpanan nugget dapat dilihat pada Gambar 19. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini akan digunakan untuk menentukan ketahanan produk serta strategi penyimpanan yang optimal.

Gambar 19. Nugget ayam pada berbagai kondisi penyimpanan

Data Nilai Total Plate Count (TPC)

a. Pengumpulan dan Penyajian Data Pada Excel

Metode pengujian TPC (Total Plate Count) pada produk nugget ayam dapat dilakukan dengan teknik kultur konvensional menggunakan media agar mengacu pada artikel ilmiah Salem *et al*., (2024). Prosedur ini bertujuan untuk menghitung jumlah total bakteri aerob yang hidup dalam sampel nugget ayam. Adapun prosedur pengujian TPC pada nugget ayam terdiri dari:

1. Pengambilan Sampel: Sampel nugget ayam diambil secara aseptis dari kemasan.
2. Pengenceran Serial: Sampel ditimbang, kemudian diencerkan secara serial menggunakan larutan pengencer steril (misal NaCl 0,85%).
3. Penanaman pada Media Agar: Sebanyak 1 ml dari setiap tingkat pengenceran diinokulasikan ke cawan petri yang berisi media *Plate Count Agar* (PCA).
4. Penuangan dan Perataan: Sampel didistribusikan merata di permukaan agar (*spread plate*) atau dicampur dengan agar cair (*pour plate*).
5. Inkubasi: Cawan diinkubasi pada suhu 35–37°C selama 24–48 jam.
6. Penghitungan Koloni: Setelah inkubasi, koloni bakteri yang tumbuh dihitung secara visual. Jumlah koloni dikalikan dengan faktor pengenceran untuk mendapatkan hasil akhir dalam satuan CFU/g (*colony forming unit per gram*).

1. Suhu Ruang (25 °C)

Tabel 6. Nilai TPC nugget ayam selama penyimpanan pada suhu ruang (25°C).

Waktu (Hari)	Waktu (Jam)	TPC* (CFU/g)
0	0	2216
0,25	6	2976
0,5	12	3620
1	24	4976
1,5	36	6312
2	**48**	**8756**
2,5	60	10888

Batas Kritis
$9{,}91\times10^{3}$ cfu/g

2. Suhu *Chiller* (5 °C)

Tabel 7. Nilai TPC nugget ayam selama penyimpanan pada suhu chiller (5°C).

Waktu (Hari)	TPC* (CFU/g)
0	2216
2	3822
4	5231
6	7167
8	**8874**
10	13468

Batas Kritis

$9{,}91\times10^3$ cfu/g

3. Suhu *Freezer* (-18 °C)

Tabel 8. Nilai TPC nugget ayam selama penyimpanan pada suhu freezer (-18°C).

Waktu (Hari)	TPC* (CFU/g)
0	2216
20	3605
40	4896
60	6422
80	8256
100	11453

Batas Kritis

$9{,}91\times10^3$ cfu/g

Catatan:

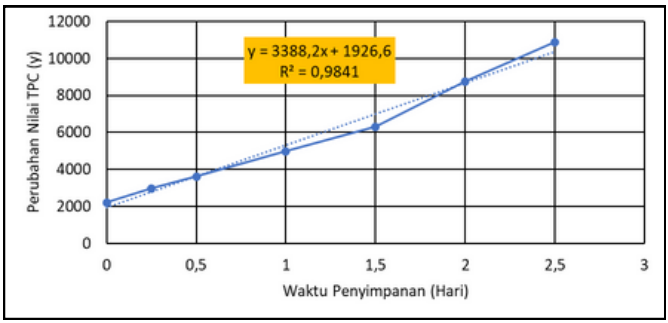
*Data nilai TPC pada tabel diatas (Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8) bukan hasil pengujian langsung oleh tim penulis, namun data ini hasil adaptasi dan modifikasi dari penelitian Rohaya et al (2023), untuk tujuan ilustrasi perhitungan masa simpan. Idealnya data didapatkan dari rata-rata hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 3x ulangan.

b. Penentuan Ordo Reaksi

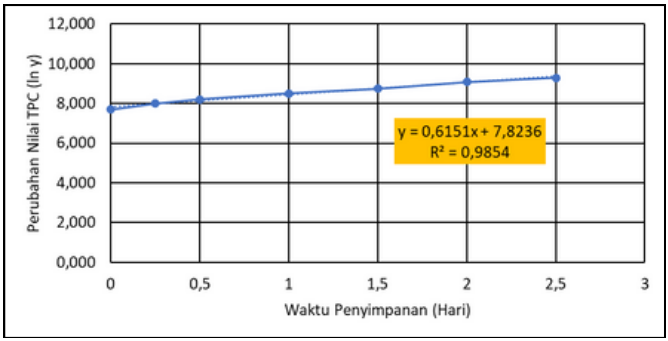
1. Suhu Ruang (25 °C)

Tabel 9. Nilai TPC dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu ruang (25°C)

Waktu (Hari)	Waktu (Jam)	Nilai TPC = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	0	2216	7,703
0,25	6	2976	7,998
0,5	12	3620	8,194
1	24	4976	8,512
1,5	36	6312	8,750
2	48	8756	9,078
2,5	60	10888	9,295



Gambar 20. Grafik ordo 0 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan

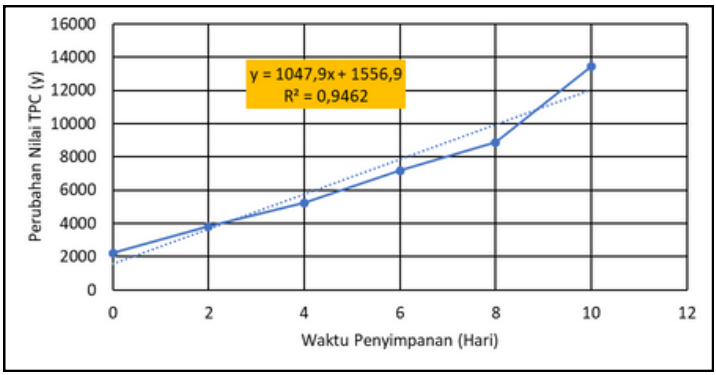


Gambar 21. Grafik ordo 1 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan

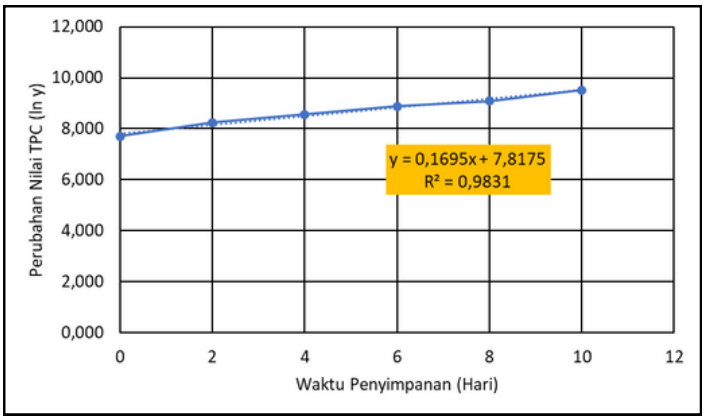
2. Suhu *Chiller* (5 °C)

Tabel 10. Nilai TPC dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu *chiller* (5°C).

Waktu (Hari)	Nilai TPC = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	2216	7,703
2	3822	8,248
4	5231	8,562
6	7167	8,877
8	8874	9,091
10	13468	9,508



Gambar 22. Grafik ordo 0 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan

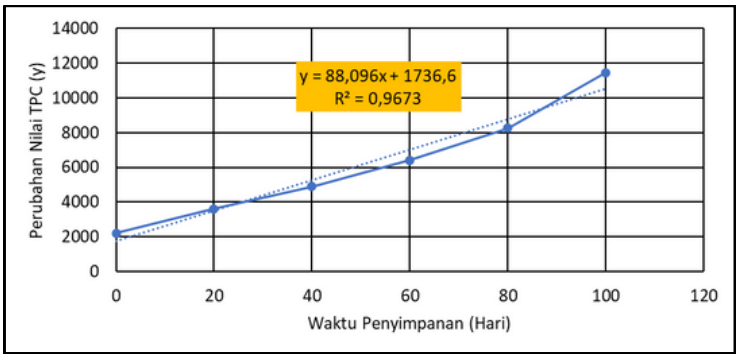


Gambar 23. Grafik ordo 1 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan

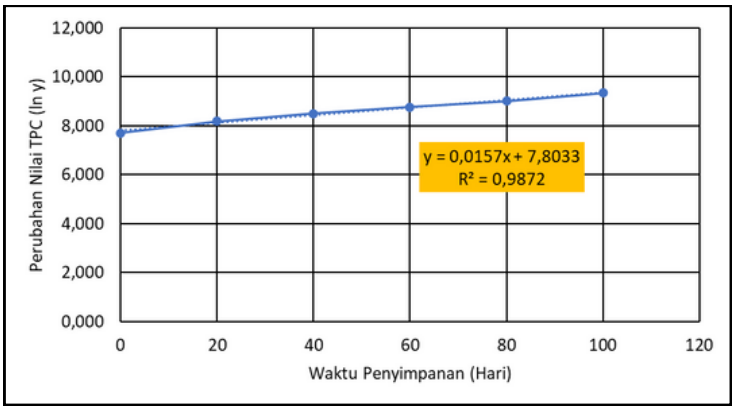
3. Suhu *Freezer* (-18 °C)

Tabel 11. Nilai TPC dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu *freezer* (-18°C).

Waktu (Hari)	Nilai TPC = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	2216	7,703
20	3605	8,190
40	4896	8,496
60	6422	8,767
80	8256	9,019
100	11453	9,346



Gambar 24. Grafik ordo 0 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan



Gambar 25. Grafik ordo 1 perubahan nilai TPC terhadap waktu penyimpanan

Untuk menentukan ordo reaksi perubahan kadar air nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan, dilakukan analisis regresi dan perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi (R^2) dari data TPC nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan.

Suhu (°C)	Persamaan Regresi		Nilai R^2	
	Ordo 0	Ordo 1	Ordo 0	Ordo 1
Ruang (25 °C)	y = 3388,2x + 1926,6	y = 0,6151x + 7,8236	0,9841	**0,9854**
Chiller (5 °C)	y = 1047,9x + 1556,9	y = 0,1695x + 7,8175	0,9462	**0,9831**
Freezer (-18 °C)	y = 88,096x + 1736,6	y = 0,0157x + 7,8033	0,9673	**0,9872**

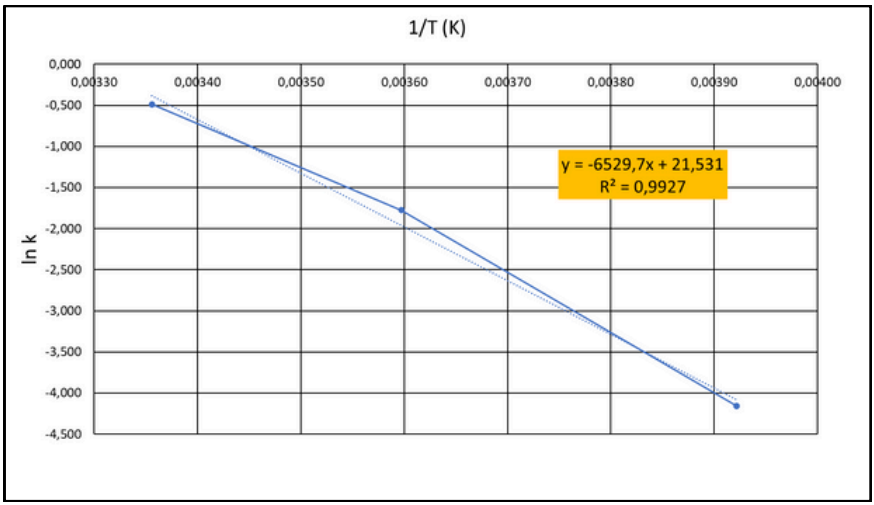
Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien determinasi **ordo satu lebih besar dari koefisien determinasi ordo nol. Dengan demikian ordo satu merupakan ordo reaksi yang digunakan untuk menentukan masa simpan.**

c. Penentuan Konstanta Persamaan Arrhenius

Pendekatan persamaan yang digunakan adalah **ln x= -ax + b,** dimana nilai b (*intercept*) persamaan merupakan konstanta persamaan Arrhenius (k). Data nilai konstanta (k) dan nilai Ln k ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai konstanta persamaan Arrhenius (k) nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan.

Suhu (°C)	1/T (K)	Persamaan Regresi	a	b=k	Ln b= ln k
Ruang (25 °C = 298 K)	0,00336	y = 0,6151x + 7,8236	7,8236	0,6151	-0,486
Chiller (5°C = 278 K)	0,00360	y = 0,1695x + 7,8175	7,8175	0,1695	-1,775
Freezer (-18°C = 255 K)	0,00392	y = 0,0157x + 7,8033	7,8033	0,0157	-4,154



Gambar 26. Grafik Korelasi ln k dan 1/T

Dari grafik korelasi ln k (y) terhadap 1/T (x) didapatkan persamaan **y=-6529,7x + 21,531.** Jika persamaan tersebut disimilarkan dengan persamaan Arrhenius **ln k = $\ln k_0$-Ea/RT,** maka didapatkan nilai intercept sama dengan nilai **ln k_0 = 21,531** dan nilai slope merupakan nilai **Ea/R = 6529,7**. Nila tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan nilai konstanta Arrhenius (k) dengan menggunakan persamaan **ln k = $\ln k_0$-Ea/RT.** Dengan mensubstitusikan nilai suhu pada persamaan tersebut maka bisa didapatkan nilai k untuk beberapa suhu.

- **Untuk suhu 25 °C = 298 K**

  Ln k = $\ln k_0$-Ea/RT
  Ln k = 21,531 - (6529,7/298)
  Ln k = -0,381
  k = 0,683

- **Untuk suhu 5 °C = 278 K**

  Ln k = $\ln k_0$-Ea/RT
  Ln k = 21,531 - (6529,7/278)
  Ln k = -1,957
  k = 0,141

- **Untuk suhu -18 °C = 255 K**

  Ln k = $\ln k_0$-Ea/RT
  Ln k = 21,531 - (6529,7/255)
  Ln k = -4,076
  k = 0,017

d. Prediksi Masa Simpan dengan Persamaan Ordo 1

Prediksi masa simpan dengan pendekatan empiris persamaan Arrhenius dengan menggunakan asumsi bahwa produk sudah mengalami penurunan mutu yang signifikan ketika TPC produk sudah mencapai **$9{,}91\times10^3$ cfu/g.** Nilai inilah yang digunakan sebagai nilai **Nt.** Selanjutnya, prediksi masa simpan dapat dihitung dengan persamaan ordo satu berikut:

$$ts = \ln(Nt-N_0)/k$$

Hasil perhitungan prediksi masa simpan nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Prediksi masa simpan nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan berdasarkan persamaan Arrhenius ordo satu.

Suhu (°C)	k	N_0	Nt	Ln N_0	Ln Nt	Ln Nt - Ln N_0	ts (hari)
Ruang (25 ˚C)	0,683	2216	9910	7,703	9,201	1,498	**2**
Chiller (5˚C)	0,141	2216	9910	7,703	9,201	1,498	**11**
Freezer (-18˚C)	0,017	2216	9910	7,703	9,201	1,498	**88**

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa nugget akan bertahan selama **2 hari pada suhu ruang (25 ˚C), 11 hari pada suhu *chiller* (5˚C), dan 88 hari pada suhu *freezer* (-18˚C)**. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan suhu penyimpanan dapat memengaruhi masa simpan produk.

Data Perubahan Nilai Kadar Air

a. Pengumpulan dan Penyajian Data Pada Excel

Pengujian kadar air pada produk nugget ayam umumnya dilakukan dengan metode oven pengering (*oven drying method*) berdasarkan standar *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC). Prosedur ini mengacu pada artikel Alamuoye *et al*., (2024) dengan melakukan penimbangan sampel nugget ayam, pengeringan dalam oven pada suhu tertentu hingga berat konstan, lalu perhitungan kadar air berdasarkan selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan.

Langkah-langkah pengujian terdiri dari:

1. Penimbangan Awal: Timbang sekitar 5 gram sampel nugget ayam yang telah dihaluskan.
2. Pengeringan: Masukkan sampel ke dalam oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan (biasanya 3–4 jam).
3. Penimbangan Akhir: Setelah pengeringan, dinginkan sampel dalam desikator lalu timbang kembali.
4. Perhitungan: Kadar air dihitung dari selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan, dinyatakan dalam persen (%).

Adapun rumusnya adalah

$$\% \text{ Kadar Air} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100\%$$

W_1 adalah berat basah, atau berat sampel sebelum dikeringkan (gram) dan W_2 adalah berat sampel setelah dikeringkan (gram).

1. Suhu Ruang (25 °C)

Tabel 15. Nilai kadar air nugget ayam selama penyimpanan pada suhu ruang (25°C).

Waktu (Hari)	Waktu (Jam)	*Kadar Air (%)
0	0	53,652
0,25	6	54,456
0,5	12	55,187
1	24	58,365
1,5	36	60,104
2	48	64,119

Batas Kritis

60,30 %

2. Suhu *Chiller* (5 °C)

Tabel 16. Nilai kadar air nugget ayam selama penyimpanan pada suhu *chiller* (5°C).

Waktu (Hari)	*Kadar Air (%)
0	53,652
1	54,597
2	55,987
3	56,865
4	58,556
5	59,978
6	62,754

Batas Kritis

60,30 %

3. Suhu *Freezer* (-18 °C)

Tabel 17. Nilai kadar air nugget ayam selama penyimpanan pada suhu *freezer* (-18°C).

Waktu (Hari)	*Kadar Air (%)
0	53,652
20	54,172
40	55,660
60	56,646
80	57,571
100	60,745

Batas Kritis

60,30 %

Catatan:

*Data nilai kadar air pada tabel diatas (Tabel 15, Tabel 16 dan Tabel 17) bukan hasil pengujian langsung oleh tim penulis, namun data ini hasil adaptasi dan modifikasi dari penelitian Rohaya *et al* (2023), untuk tujuan ilustrasi perhitungan masa simpan. Idealnya data didapatkan dari rata-rata hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 3x ulangan.

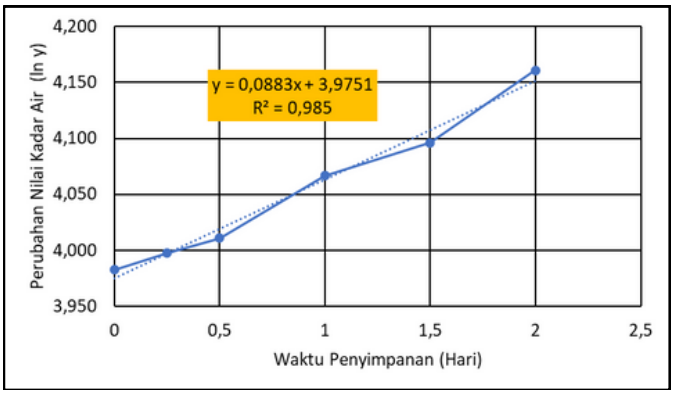
b. Penentuan Ordo Perubahan Kimia

1. Suhu Ruang (25 °C)

Tabel 18. Nilai kadar air dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu ruang (25°C).

Waktu (Hari)	Waktu (Jam)	Nilai Kadar Air = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	0	53,652	3,983
0,25	6	54,456	3,997
0,5	12	55,187	4,011
1	24	58,365	4,067
1,5	36	60,104	4,096
2	48	64,119	4,161

Gambar 27. Grafik ordo 0 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan

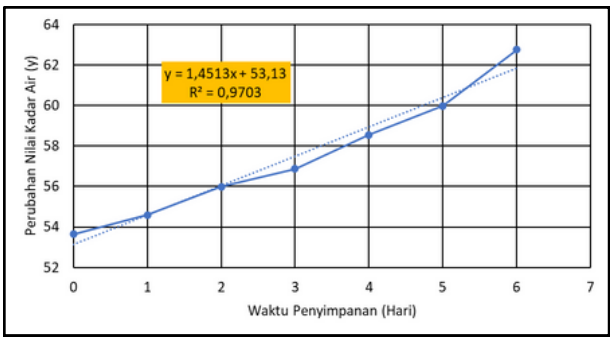


Gambar 28. Grafik ordo 1 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan

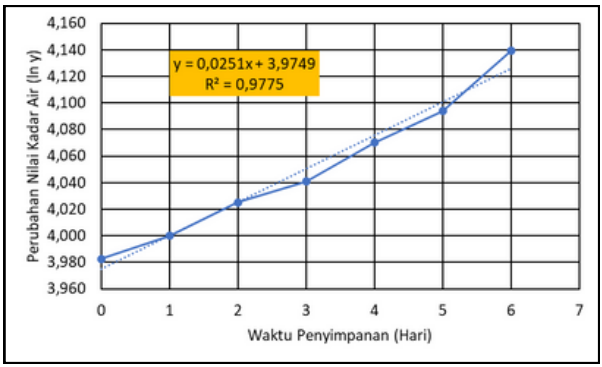
2. Suhu *Chiller* (5 °C)

Tabel 19. Nilai kadar air dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu chiller (5°C).

Waktu (Hari)	Nilai Kadar Air = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	53,652	3,983
1	54,597	4,000
2	55,987	4,025
3	56,865	4,041
4	58,556	4,070
5	59,978	4,094
6	62,754	4,139



Gambar 29. Grafik ordo 0 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan

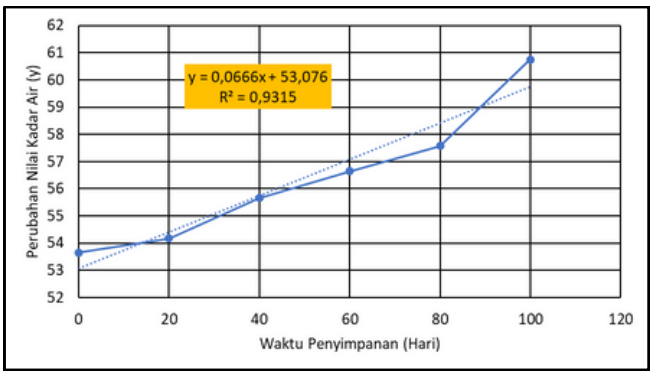


Gambar 30. Grafik ordo 1 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan

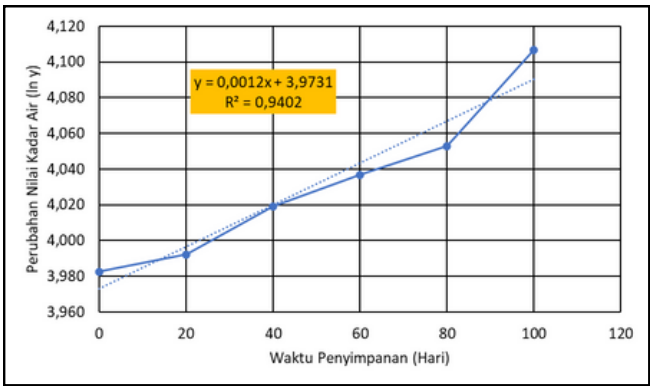
3. Suhu *Freezer* (-18 °C)

Tabel 20. Nilai kadar air dan (ln y) nugget ayam selama penyimpanan pada suhu freezer (-18°C).

Waktu (Hari)	Nilai Kadar Air = Fungsi (y)	Fungsi (ln y)
0	53,652	3,983
20	54,172	3,992
40	55,660	4,019
60	56,646	4,037
80	57,571	4,053
100	60,745	4,107



Gambar 31. Grafik ordo 0 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan



Gambar 32. Grafik ordo 1 perubahan nilai kadar air terhadap waktu penyimpanan

Untuk menentukan ordo reaksi perubahan kadar air nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan, dilakukan analisis regresi dan perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 21.

Tabel 21. Persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi (R^2) dari data kadar air nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan.

Suhu (°C)	Persamaan Regresi		Nila R^2	
	Ordo 0	Ordo 1	Ordo 0	Ordo 1
Ruang (25 ˚C)	y = 5,16x + 53,132	y = 0,0883x + 3,9751	0,9803	**0,9850**
Chiller (5˚C)	y = 1,4513x + 53,13	y = 0,0251x + 3,9749	0,9703	**0,9775**
Freezer (-18˚C)	y = 0,0666x + 53,076	y = 0,0012x + 3,9731	0,9315	**0,9402**

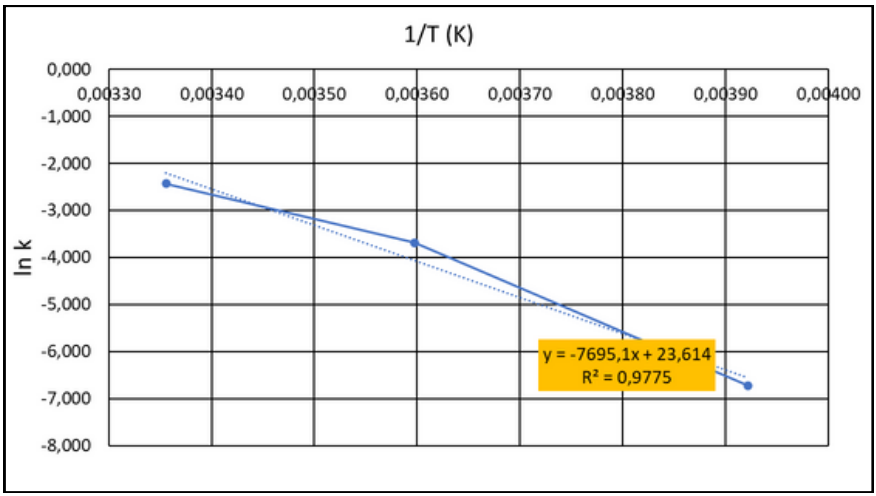
Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien determinasi **ordo satu lebih besar dari koefisien determinasi ordo nol. Dengan demikian ordo satu merupakan ordo reaksi yang digunakan untuk menentukan masa simpan.**

c. Penentuan Konstanta Persamaan Arrhenius

Pendekatan persamaan yang digunakan adalah **ln x= -ax + b**, dimana nilai b (*intercept*) persamaan merupakan konstanta persamaan Arrhenius (k). Hasil perhitungan konstanta (k) dan nilai Ln k ditampilkan pada Tabel 22.

Tabel 22. Nilai konstanta persamaan Arrhenius (k) nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan.

Suhu (°C)	1/T (K)	Persamaan Regresi	a	b=k	Ln b= ln k
Ruang (25 ˚C = 298 K)	0,00336	y = 0,0883x + 3,9751	3,9751	0,0883	-2,427
Chiller (5˚C = 278 K)	0,00360	y = 0,0251x + 3,9749	3,9749	0,0251	-3,685
Freezer (-18˚C = 255 K)	0,00392	y = 0,0012x + 3,9731	3,9731	0,0012	-6,725



Gambar 33 Grafik Korelasi ln k

Dari grafik korelasi ln k (y) terhadap 1/T (x) didapatkan persamaan **y=-7695,1x + 23,614**. Jika persamaan tersebut disimilarkan dengan persamaan Arrhenius **ln k = lnk_0-Ea/RT**, maka didapatkan nilai intercept sama dengan nilai **ln k_0 = 23,614** dan nilai slope merupakan nilai **Ea/R = 7695,1**. Nila tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan nilai konstanta Arrhenius (k) dengan menggunakan persamaan **ln k = lnk_0-Ea/RT**. Dengan mensubstitusikan nilai suhu pada persamaan tersebut maka bisa didapatkan nilai k untuk beberapa suhu.

- **Untuk suhu 25 °C = 298 K**

  Ln k = lnk0-Ea/RT
  Ln k = 23,614 - (7695,1/298)
  Ln k = -2,208
  k = 0,110

- **Untuk suhu 5 °C = 278 K**

  Ln k = lnk0-Ea/RT
  Ln k = 23,614 - (7695,1/278)
  Ln k = -4,066
  k = 0,017

- **Untuk suhu -18 °C = 255 K**

  Ln k = lnk0-Ea/RT
  Ln k = 23,614 - (7695,1/255)
  Ln k = -6,563
  k = 0,001

d. Prediksi Masa Simpan dengan Persamaan Ordo 1

Prediksi masa simpan dengan pendekatan empiris persamaan Arrhenius dengan menggunakan asumsi bahwa produk sudah mengalami penurunan mutu yang signifikan ketika Kadar Air produk sudah mencapai 60,30 % (Nt), sehingga dari nilai ini kita bisa memprediksi nilai masa simpan dengan persamaan :

ts = ln(Nt-No)/k

Tabel 23. Prediksi masa simpan nugget ayam pada berbagai suhu penyimpanan berdasarkan persamaan Arrhenius ordo satu.

Suhu (°C)	k	N_0	Nt	Ln N_0	Ln Nt	Ln Nt - Ln N_0	ts (hari)
Ruang (25 ˚C)	0,110	53,652	60,300	3,983	4,099	0,117	**1**
Chiller (5˚C)	0,017	53,652	60,300	3,983	4,099	0,117	**7**
Freezer (-18˚C)	0,001	53,652	60,300	3,983	4,099	0,117	**83**

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa nugget akan bertahan selama 1 **hari pada suhu ruang (25 ˚C), 7 hari pada suhu *chiller* (5˚C), dan 83 hari pada suhu *freezer* (-18˚C)**. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan suhu penyimpanan dapat memengaruhi masa simpan produk.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan masa simpan yang ditampilkan pada Tabel 14 (untuk parameter mutu TPC) dan Tabel 23 (untuk parameter mutu kadar air), dapat diambil kesimpulan bahwa masa simpan untuk produk nugget ini akan mengacu pada nilai prediksi Tabel 23. Hal ini karena dalam metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT), masa simpan disimpulkan berdasarkan parameter kritis, yakni parameter mutu yang **paling cepat mengalami penurunan hingga melewati batas toleransi yang telah ditetapkan (nilai Nt).**

Note:

Pada studi kasus ini, didapatkan nilai Ea untuk parameter TPC lebih rendah daripada nilai Ea kadar air. Jika mengacu pada poin 10 pada halaman 120, maka seharusnya kesimpulan prediksi masa simpan mengacu pada Tabel 14. Namun, pada akhirnya yang digunakan adalah Tabel 23. Hal ini menjadi contoh real penjelasan pada halaman 120, bahwa Energi aktivasi rendah bukan satu-satunya parameter yang digunakan untuk menentukan masa simpan. Pada studi kasus ini, nilai selisih mutu (Nt-N_0) menjadi faktor penentu.

Pendekatan Kadar Air Kritis

Kriteria Pemilihan Metode

Metode prediksi masa simpan berbasis kadar air kritis merupakan pendekatan yang sangat cocok untuk produk pangan kering atau renyah yang mudah menyerap air dari lingkungan. Produk-produk seperti keripik, kacang, atau mi kering sangat rentan mengalami penurunan mutu ketika terpapar udara dengan kelembapan tinggi. Air yang terserap ke dalam produk dapat mengubah sifat fisiknya, seperti tekstur dan kerenyahan, sehingga tidak lagi menarik atau layak dikonsumsi. Oleh karena itu, memahami seberapa banyak air yang bisa ditoleransi produk sebelum terjadi kerusakan menjadi kunci penting dalam menjaga mutu produk.

Kadar air kritis adalah ambang batas maksimum kadar air dalam produk di mana mutu sensori maupun keamanan produk masih dapat diterima oleh konsumen. Ketika kadar air melampaui titik ini, kerusakan mulai tampak, ditandai dengan produk menjadi tidak renyah, menggumpal, bahkan dapat menjadi media tumbuh mikroorganisme. Pendekatan ini tidak hanya menjelaskan proses kerusakan atau penurunan mutu pangan, tetapi juga memberikan indikator yang jelas dan terukur mengenai kapan suatu produk mulai melewati batas mutu terbaiknya. Itulah mengapa kadar air kritis sangat relevan sebagai parameter utama dalam pengendalian mutu pangan kering.

Lebih dari sekadar indikator mutu, kadar air kritis juga dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan masa simpan suatu produk secara kuantitatif. Dengan mengukur kadar air awal produk, kadar air kritis, serta laju penyerapan air yang terjadi melalui kemasan, masa simpan dapat dihitung menggunakan model matematis seperti persamaan Labuza. Pendekatan ini menggabungkan aspek ilmiah dari sifat sorpsi air dengan karakteristik fisik kemasan, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan realistis dalam kondisi penyimpanan nyata. Efektivitas metode ini telah dibuktikan dalam berbagai studi. Misalnya, pada produk keripik kentang, pendekatan kadar air kritis terbukti mampu memprediksi masa simpan dengan hasil yang presisi dan dapat diandalkan (Alfiyani *et al*., 2019). Keakuratan ini menjadikan metode ini sebagai salah satu standar yang layak dipertimbangkan dalam penentuan masa simpan produk pangan kering. Bagi pelaku industri pangan, penggunaan pendekatan ini bisa menjadi solusi praktis dan ilmiah untuk menjaga mutu produk sampai ke tangan konsumen.

Tahapan Pengujian

1. Penentuan Kadar Air Awal

Ambil sampel sebanyak 5 gram, kemudian panaskan dalam oven pada suhu 110^{o}C. Timbang sampel secara berkala setiap satu jam hingga mencapai berat yang konstan. Agar data lebih valid, lakukan pengambilan data dengan ulangan sebanyak 3x. Kadar air ditentukan berdasarkan bobot kering (*dry basis*).

$$Mk = \frac{(Wi - Wf)}{(Wf - W_0)}$$

Keterangan:
Mk : Kadar Air basis kering (g H_2O/ g padatan kering)
W_0 : Bobot Cawan Kosong (g)
Wi : Bobot Cawan Kosong + Isi, sebelum dikeringkan (g)
Wf : Bobot Cawan Kosong + Isi, sesudah dikeringkan (g)

2. Penentuan Kadar Air Kritis melalui Uji Hedonik

- Penentuan kadar air kritis dilakukan dengan melakukan pengujian sensori terlebih dahulu. Adapun uji sensori yang dilakukan menggunakan metode uji hedonik. Metode uji ini dilakukan untuk mengetahui penerimaan panelis terhadap perubahan atribut sensori pada sampel. Atribut sensori pada sampel yang tidak diterima oleh panelis kemudian dijadikan sebagai deskriptor kritis yaitu ketika panelis agak tidak menyukai atau memberikan skor ≤ 3 (Skala 7) atau skor ≤ 4 (Skala 9) pada parameter uji sensori.
- Jumlah panelis pada uji hedonik yakni 10 panelis terlatih atau minimal 30 panelis tidak terlatih. Panelis terlatih adalah sekumpulan orang yang merupakan personal laboratorium atau karyawan perusahan yang telah dilatih untuk pengujian. Sedangkan panelis tidak terlatih bisa merupakan konsumen produk. Metode pengukuran respon panelis yang digunakan adalah dengan teknik skor dengan skala 1-7 atau skala 1-9.
- Masing-masing panelis akan diminta untuk memberikan skor pada atribut tertentu (disesuaikan dengan karakteristik sampel), seperti warna, aroma, tekstur (kerenyahan), dan *overall*.
- Ketika lebih dari atau sama dengan 30-50% panelis (penentuan % batas penolakan ditentukan oleh pelaku industri pangan) mulai tidak menyukai sampel dengan memberikan skor ≤ 3 (Skala 7) atau skor ≤ 4 (Skala 9) pada atribut sensori tertentu, maka sampel pada titik tersebut digunakan untuk menentukan kadar air kritis.
- Sampel yang tidak diterima oleh panelis dilakukan pengujian kadar airnya dengan ulangan sebanyak 3x. Nilai rata-rata kadar air tersebut yang dianggap sebagai kadar air kritis produk. Pengujian kadar air mengacu pada metode pengujian kadar air awal produk.

3. Penentuan Kadar Air Kesetimbangan

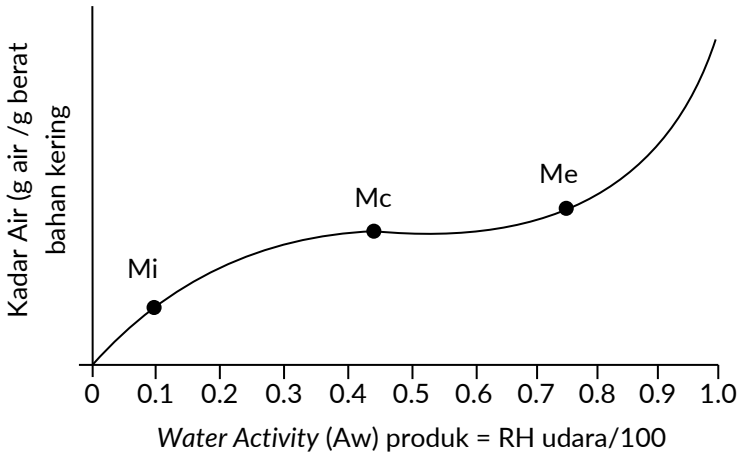
Penentuan kurva isotermis sorpsi air dilakukan dengan menggunakan enam jenis larutan garam jenuh. Sampel seberat 5 gram ditempatkan dalam wadah, kemudian disimpan di dalam desikator yang telah berisi larutan garam jenuh. Selanjutnya, sampel ditimbang secara berkala setiap periode waktu tertentu hingga beratnya mencapai konstan. Setelah itu, kadar air sampel dihitung berdasarkan basis kering. Kurva isotermis kemudian disusun dengan memplotkan kadar air terhadap nilai aktivitas air (aw) atau kelembaban relatif (RH) dari tiap desikator. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 24.

Nilai slope diperoleh dari daerah linear kurva ISA model GAB, yaitu garis lurus yang menghubungkan kadar air awal hingga mencapai kadar air kritis, persamaan y = bx + a dengan b sebagai slope.

Tabel 24. nilai Aw lingkungan dalam kesetimbangan dengan larutan garam jenuh

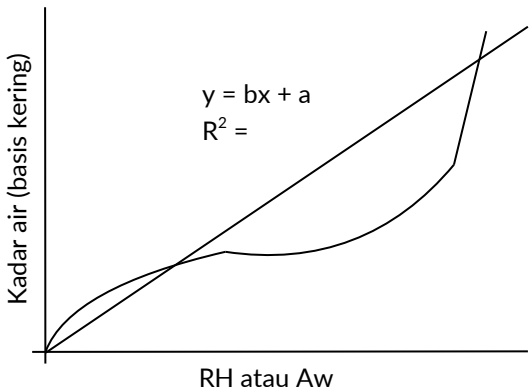
Garam	Nilai Aw pada suhu			
	5°C	15°C	25°C	35°C
LiBr	0,074	0,069	0,064	0,597
LiCl	0,113	0,113	0,113	0,113
KCH_3CO_2	0,291	0,234	0,225	0,216
$MgCl_2$	0,336	0,333	0,328	0,321
K_2CO_3	0,431	0,432	0,432	0,436
$Mg(NO_3)_2$	0,589	0,559	0,529	0,499
$NaNO_2$	0,732	0,693	0,654	0,628
$SrCl_2$	0,771	0,741	0,709	-
NaCl	0,757	0,756	0,753	0,749
$(NH_4)_2SO_4$	0,824	0,817	0,803	0,803
KCl	0,877	0,859	0,843	0,830
$BaCl_2$	-	0,910	0,903	0,895
K_2SO_4	0,985	0,979	0,973	0,967

Sumber: Greenspan (1977), Labuza *et al*. (1985), dan Resnik dan Chirife (1988)



Gambar 34. Kurva kadar air awal (Mi), kadar air kritis (Mc) dan kadar air kesetimbangan (Me)
Sumber: Gambar ulang dari Hariyadi, 2019

Grafik diatas menggambarkan kurva isotermis sorpsi air (ISA) yang menunjukkan hubungan antara kadar air (dalam g air/g bahan kering) dengan aktivitas air (Aw) dari suatu produk pangan. Titik Mi merepresentasikan kadar air awal produk sebelum disimpan. Selanjutnya, titik Mc menunjukkan kadar air kritis, yaitu kadar air maksimum yang masih dapat diterima secara sensori oleh konsumen. Titik Me merupakan kadar air kesetimbangan, yaitu kadar air yang dicapai produk setelah berada dalam kondisi kelembapan tertentu dalam jangka waktu tertentu. Secara umum, urutan kadar air yang berlaku dalam kurva ini adalah **Mi < Mc < Me** (Hariyadi, 2019).



Gambar 35. Kurva Hubungan Kadar air terhadap RH atau Aw
Sumber: Gambar ulang dari Hariyadi, 2019

Nilai **b adalah slope** yang nanti akan dimasukkan dalam persamaan penentuan pendugaan masa simpan. Nilai kemiringan garis regresi (slope) dari kurva kadar air terhadap RH dapat digunakan sebagai faktor koreksi dalam perhitungan masa simpan bahan pangan kering (Hariyadi, 2019).

4. Pengukuran Luas Permukaan Kemasan

Permukaan kemasan yang tidak bersentuhan langsung dengan sampel dipotong secara vertikal dan dibuka hingga membentuk bidang datar menyerupai persegi panjang. Ukuran panjang dan lebar dari bidang tersebut diukur menggunakan alat ukur panjang (misal, penggaris). Nilai panjang dan lebar kemudian dikalikan dua untuk memperoleh total luas permukaan kedua sisi kemasan. Nilai luas tersebut dikonversi ke dalam satuan meter persegi (m^2). Penentuan luas permukaan kemasan ini mengacu pada persamaan berikut (Alfiyani *et al*., 2019).

Luas dua sisi kemasan = 2 x (panjang x lebar)

5. Penentuan Parameter Pendukung

Nilai permeabilitas kemasan (k/x), diperoleh dari referensi. Sedangkan nilai tekanan uap jenuh (P_0) pada suhu penyimpanan diperoleh dari tabel Labuza. Nilai-nilai konstanta permeabilitas beberapa jenis polimer kemasan dapat dilihat pada Tabel 25.

Tabel 25. Nilai Konstanta Permeabilitas beberapa polimer kemasan

Nama Polimer	Nilai k x 1011 [mL(STP).cm.cm^{-2}.s^{-1}.cmHg^{-1}		
	O_2, 30^{o}C	CO_2, 30^{o}C	H_2O, 90% RH, 25^{o}C
Low Density Polyethylene (LDPE)	55	352	800
High Density Polyethylene (HDPE)	10,6	35	130
Polypropylene (PP)	23	92	680
Unplasticized Polyvinylchlorida	1,2	10	1560
Cellulose Acetate	7,8	68	75000
Polystyrene	11	88	12000
Nylon 6	0,38	1,6	7000
Polyethylene terephthalate	0,22	1,53	1300
Polyvinylidence chloride copolymer	0,053	0,29	14

Sumber: Robertson, 1993. “Predicting the Shelf Life of Packaged Foods” dalam General Topics in Food Science and Technology

Selain data permeabilitas dari bahan kemasan, informasi mengenai tekanan uap jenuh (P^0) pada berbagai suhu juga diperlukan untuk menghitung laju transmisi uap air melalui kemasan. Nilai tekanan uap jenuh pada suhu di bawah 100°C dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26. Tekanan uap murni pada suhu di bawah 100°C

Suhu (°C)	Tekanan (mmHg)	Suhu (°C)	Tekanan (mmHg)	Suhu (°C)	Tekanan (mmHg)	Suhu (°C)	Tekanan (mmHg)
0	4,6	25	23,8	50	92,5	75	289,1
1	4,9	26	25,2	51	97,2	76	301,4
2	5,3	27	26,7	52	102,1	77	314,1
3	5,7	28	28,3	53	107,2	78	327,3
4	6,1	29	30	54	112,5	79	341
5	6,5	30	31,8	55	118	80	355,1
6	7	31	33,7	56	123,8	81	369,7
7	7,5	32	35,7	57	129,8	82	384,9
8	8	33	37,7	58	136,1	83	400,6
9	8,6	34	39,9	59	142,6	84	416,8
10	9,2	35	42,2	60	149,4	85	433,6
11	9,8	36	44,6	61	156,4	86	450,9
12	10,5	37	47,1	62	163,8	87	468,7
13	11,2	38	49,7	63	171,4	88	487,1
14	12	39	52,4	64	179,3	89	506,1
15	12,8	40	55,3	65	187,5	90	525,8
16	13,6	41	58,3	66	196,1	91	546
17	14,5	42	61,5	67	205	92	567
18	15,5	43	64,8	68	214,2	93	588,6
19	16,5	44	68,3	69	223,7	94	610,9
20	17,5	45	71,9	70	233,7	95	633,9
21	18,7	46	75,7	71	243,9	96	657,6
22	19,8	47	79,6	72	254,6	97	682,1
23	21,1	48	83,7	73	265,7	98	707,3
24	22,4	49	88	74	277,2	99	733,2

Sumber: https://intro.chem.okstate.edu/1515SP01/Database/VPWater.html

6. Pendugaan Masa Simpan Produk Pangan

Pendugaan masa simpan dapat ditentukan menggunakan nilai slope (b) kurva sorpsi isotermis dengan persamaan labuza

$$\theta = \frac{\ln\left(\frac{Me - Mi}{Me - Mc}\right)}{\frac{k}{x}\left(\frac{A}{Ws}\right)\frac{Po}{b}}$$

Keterangan :

θ = waktu untuk mencapai masa simpan atau kadar air kritis (hari atau bulan)
Me = kadar air kesetimbangan produk (g H_2O/g padatan kering)
Mi = kadar air awal produk pada awal penyimpanan (g H_2O/g padatan kering)
Mc = kadar air kritis pada suhu tertentu (g H_2O/g padatan kering)
k/x = permeabilitas kemasan (g/m^2 hari/mmHg)
A = Luas kemasan yang dihitung berdasarkan dimensi kemasan yang digunakan (m^2)
Ws = Berat kering bahan (g)
Po = Tekanan uap air murni (mmHg) pada suhu penyimpanan (misal pada 30°C , nilai Po adalah 31.8 mmHg)
b = Slope kurva isoterm sorpsi air

Nilai slope (b) dapat diambil dari daerah linear antara kadar air awal dan kadar air kritis. Plot antara aktifitas air dengan kadar air kesetimbangan memiliki persamaan linier y = bx + a. Dimana nilai b merupakan kemiringan kurva sorpsi isotermis yang akan dihitung menggunakan persaman labuza.

Contoh Praktik Pengujian

Suatu produsen UMKM memiliki produk makanan yaitu stik keju. Produk ini menggunakan bahan baku seperti tepung terigu, tepung tapioka, telur, margarin, keju, garam dan penyedap rasa. Kemasan yang dipakai adalah kemasan aluminium digabungkan dengan plastik PET. Untuk memperkirakan masa simpan produk, diperlukan suatu metode yang mampu memperhitungkan perubahan kadar air selama penyimpanan. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan kadar air kritis. Sebagai tambahan informasi, data-data yang akan ditampilkan dalam bagian ini merupakan hasil adaptasi dan modifikasi dari Laporan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (Nurul Asiah dan Rizki Maryam Astuti) dan juga bagian dari Tugas Akhir Widia Susilawati (2025).

Penentuan Kadar Air Awal (Mi)

Kadar air awal adalah jumlah air yang ada dalam bahan pangan tepat setelah dikemas, sebelum mengalami proses penyimpanan atau pengolahan lebih lanjut. Pengujian kadar air awal dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Kadar air awal diukur berdasarkan persen berat basah ataupun berat kering. Terdapat 3 kali pengulangan untuk pengujian kadar air awal. Kadar air basis basah dan kadar air basis kering stik keju ditunjukkan pada Tabel 27.

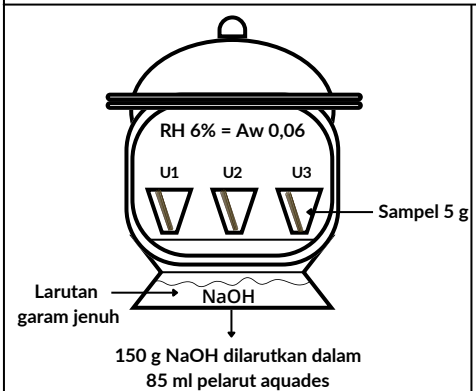
Tabel 27. Kadar air awal stik keju

Kode Sampel	Berat Basah	Berat Kering	Kadar air basis kering (g H_2O/g padatan kering)
Ulangan 1	5,004	4,909	0,0194
Ulangan 2	5,036	4,941	0,0192
Ulangan 3	5,072	4,950	0,0246
Rata-rata	5,037	4,933	0,0211

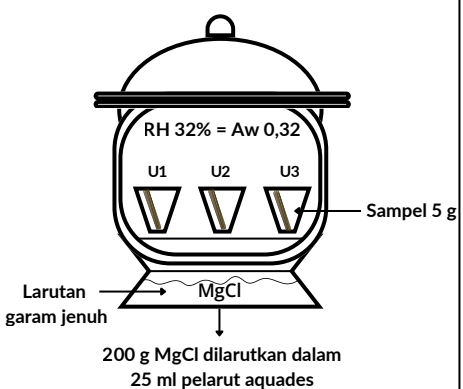
Penentuan Kadar Air Kesetimbangan (Me)

Penentuan kadar air kesetimbangan dilakukan menggunakan 6 larutan garam jenuh. Sebanyak 5 gram sampel diletakkan dalam cawan porselen kemudian disimpan dalam desikator yang berisi larutan garam jenuh. Kadar air kesetimbangan merupakan kadar air produk pada nilai aktivitas air tertentu. Nilai aktivitas air diperoleh dari penggunaan larutan garam jenuh. Setiap pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Rincian hasil pengujian kadar air kesetimbangan disajikan pada Tabel 28 - Tabel 33.

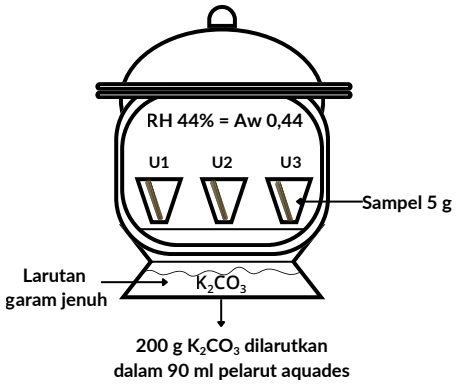
Tabel 28. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam NaOH)

Larutan Garam Jenuh (NaOH)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,015 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,009 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,011 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,06	Rata-rata= 0,012 (g H_2O/g padatan kering)

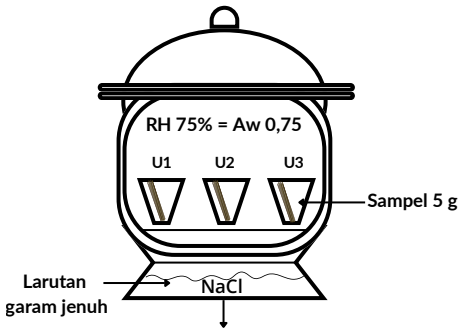
Tabel 29. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam MgCl)

Larutan Garam Jenuh (MgCl)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,032 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,025 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,029 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,32	Rata-rata= 0,029 (g H_2O/g padatan kering)

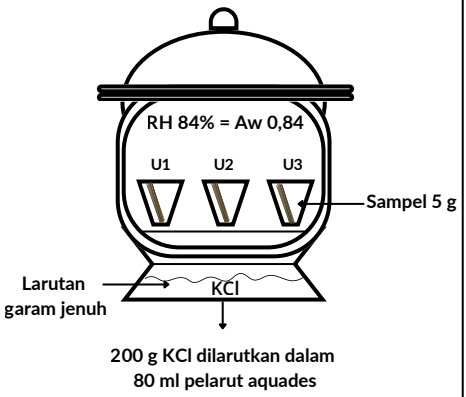
Tabel 30. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam K_2CO_3)

Larutan Garam Jenuh (K_2CO_3)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,041 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,041 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,033 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,44	Rata-rata= 0,038 (g H_2O/g padatan kering)

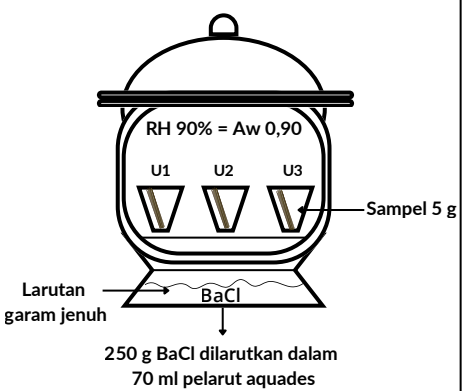
Tabel 31. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam NaCl)

Larutan Garam Jenuh (NaCl)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,071 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,072 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,062 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,75	Rata-rata= 0,068 (g H_2O/g padatan kering)

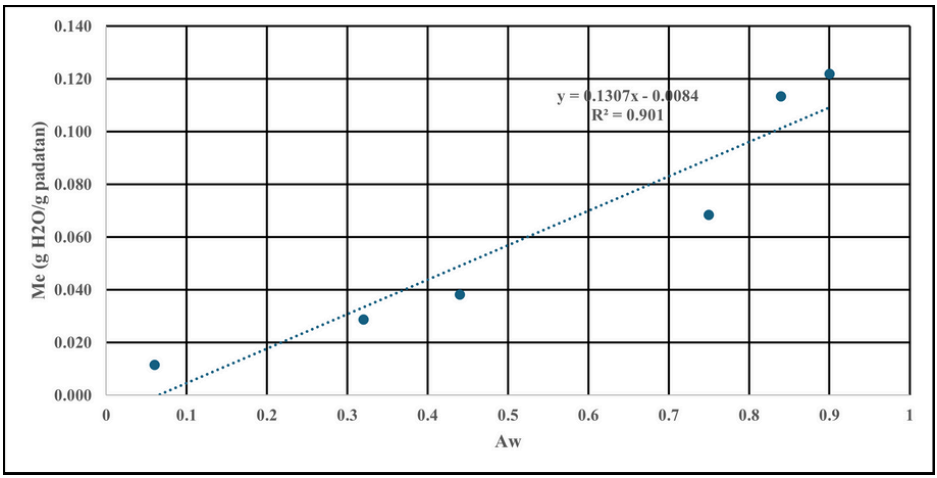
Tabel 32. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam KCl)

Larutan Garam Jenuh (KCl)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,133 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,122 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,085 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,84	Rata-rata= 0,113 (g H_2O/g padatan kering)

Tabel 33. Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan (Larutan Garam BaCl)

Larutan Garam Jenuh (BaCl)	
	Hasil Pengujian Kadar Air Kesetimbangan • Ulangan 1 = 0,129 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 2 = 0,137 (g H_2O/g padatan kering) • Ulangan 3 = 0,100 (g H_2O/g padatan kering)
Aw = 0,90	Rata-rata= 0,122 (g H_2O/g padatan kering)

Hasil pengukuran kadar air kesetimbangan sampel diplotkan pada masing-masing Aw membentuk kurva sorpsi isotermik seperti yang terlihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Kurva sorpsi isotermik stik keju

Nilai slope diperoleh dari daerah linear kurva ISA model GAB, yaitu garis lurus yang menghubungkan kadar air awal hingga mencapai kadar air kritis, persamaan **y = bx + a** dengan **b sebagai slope.** Berdasarkan grafik, didapatkan nilai **slope 0,1307.** Nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu sebesar **0,901** menunjukkan bahwa hubungan linear ini sangat kuat. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai Aw, maka semakin tinggi pula nilai kadar air kesetimbangannya.

Untuk mendapatkan nilai kadar air kesetimbangan (Me), dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan regresi linear dari plot Aw dan Me yaitu **y = 0,1307x - 0,0084. Nilai** y adalah nilai kadar air kesetimbangan, sedangkan nilai (x) direpresentasikan sebagai nilai Aw. Pada percobaan kali ini, nilai Aw diambil dari **RH rata-rata penyimpanan produk pada suhu ruang yaitu 85%, maka nilai Aw adalah 0,85.**

y = 0,1307x – 0,0084
y = 0,1307 (0,85) - 0,0084
y = 0,111095 - 0,0084
y = 0,103
Me = 0,103

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan diatas maka didapatkan **kadar air kesetimbangan (Me)** yaitu **0,103 g H_2O/g padatan kering**.

Contoh penyimpanan sampel pada kondisi lingkungan ruang ditunjukkan pada Gambar 36.

Gambar 36. Penyimpanan sampel pada lingkungan ruang

Penentuan Kadar Air Kritis (Mc)

Kadar air suatu produk pangan yang menunjukkan terjadinya penurunan mutu atau kerusakan sehingga mengalami penolakan oleh konsumen secara sensori, diartikan sebagai kadar air kritis. Nilai kadar air kritis mengacu pada hasil pengujian metode sensori menggunakan panelis terlatih minimal 10 orang.

Metode sensori menggunakan skor dari skala 1-9, skor 1 sangat tidak suka dan 9 sangat suka. Masing-masing panelis diminta untuk memberikan skor pada atribut warna, aroma, tekstur, rasa, *aftertaste*, dan tingkat penilaian keseluruhan. Form pengujian dapat dilihat pada Gambar 37. Ketika lebih dari atau sama dengan 30% penolakan, maka kadar air sampel tersebut digunakan untuk menentukan kadar air kritis. Hubungan antara kadar air kritis dan tingkat penolakan keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 34.

PENGUJIAN MUTU SENSORI STIK KEJU

Produk : Stik Keju
Nama :
Tanggal :

Petunjuk :
Dihadapan Anda terdapat sampel stik keju. Anda diminta untuk menilai atribut sensori masing-masing sampel. Cicipilah setiap sampel lalu amati dan beri nilai sesuai dengan tingkat kesukaan Anda terhadap atribut warna, aroma, tekstur, rasa, aftertaste, dan tingkat penilaian keseluruhan stik keju. Berkumurlah menggunakan air mineral terlebih dahulu sebelum Anda menguji tiap sampel.

Keterangan :
1 = Amat sangat tidak suka
2 = Sangat tidak suka
3 = Tidak suka
4 = Agak tidak suka
5 = Netral
6 = Agak suka
7 = Suka
8 = Sangat suka
9 = Amat sangat suka

Atribut	Kode Sampel							
	135	284	392	479	582	617	746	824
Warna								
Aroma								
Tekstur								
Rasa								
Aftertaste								
Apakah Anda masih menerima atau mengonsumsi produk ini? (Ya atau Tidak)								

Gambar 37. Contoh formulir pengujian evaluasi sensori

Tabel 34. Hubungan antara kadar air kritis dan tingkat penolakan keseluruhan

Lama Penyimpanan (Bulan)	Kadar Air Kritis (g H_2O/g padatan)	Tingkat Penolakan Keseluruhan
0	0,032	7%
1	0,031	7%
2	0,035	27%
3	0,042	47%
4	0,044	47%
5	0,069	60%
6	0,079	93%

Asumsi berdasarkan hipotesa awal, karakteristik yang dimiliki oleh produk yang mungkin cepat dideteksi perubahannya oleh konsumen adalah atribut aroma dan rasa. Maka dari kedua atribut tersebut, dapat dibandingkan dengan tingkat penolakan keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian yang mengacu pada uji sensori, produk stik keju telah mengalami penolakan pada bulan ke-3 dengan kadar air **0,042 g H_2O/ g padatan kering** yang menjadi kadar air kritis.

Gambar 38. Uji sensori untuk menentukan nilai kadar air kritis

Penentuan Variabel Pendukung

Penentuan variabel pendukung nilai permeabilitas kemasan (k/x) diperoleh dari referensi dengan jenis kemasan PET sebesar **0,046 g/m^2/hari.mmHg** (Kusumawardani *et al*., 2018). Luas permukaan kemasan diukur menggunakan mistar. Panjang dan lebar dikalikan dengan 2 sehingga didapatkan luas permukaannya lalu dikonversi menjadi m^2. Didapatkan bahwa **luas kemasannya adalah 0,06033 m^2**. Sedangkan nilai **tekanan uap murni (P_o) pada suhu 28°C yaitu sebesar 28,3 mmHg** (Chem Intro).

Gambar 39. Pengukuran kemasan

Prediksi Nilai Masa Simpan

Pendugaan masa simpan stik keju ditentukan menggunakan persamaan Labuza. Variabel yang dibutuhkan untuk menghitung ditunjukkan pada Tabel 35.

Tabel 35. Variabel yang Digunakan untuk Perhitungan Prediksi Masa Simpan Stik Keju dengan Persamaan Labuza

Variabel	Nilai	Satuan
Kadar Air Awal (Mi)	0,021	g H_2O/g padatan
Kadar Air Kesetimbangan (Me)	0,103	g H_2O/g padatan
Kadar Air Kritis (Mc)	0,042	g H_2O/g padatan
Permeabilitas uap air kemasan (k/x)	0,046	g/m^2/hari.mmHg
Luas permukaan kemasan (A)	0,06033	m^2
Bobot kering produk dalam kemasan (Ws)	162	g
Tekanan uap jenuh (Po)	28,3	mmHg
Kemiringan kurva ISA (b)	0,1307	

Semua variabel dimasukkan ke dalam persamaan Labuza.

$$\theta = \frac{\ln\left(\frac{Me - Mi}{Me - Mc}\right)}{\frac{k}{x}\left(\frac{A}{Ws}\right)\frac{Po}{b}}$$

$$\theta = \frac{\ln\left(\frac{0{,}103 - 0{,}021}{0{,}103 - 0{,}042}\right)}{0{,}046\left(\frac{0{,}06033}{162}\right)\frac{28{,}3}{0{,}1307}}$$

$$\theta = \frac{0{,}2959277}{0{,}0037092}$$

$$\theta = 79,7 \text{ hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan Labuza, didapatkan bahwa pendugaan masa simpan dari produk stik keju adalah **79 hari** atau sama dengan **2 bulan 19 hari**

Evaluasi Sensori

Kriteria Pemilihan Metode

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menduga masa simpan suatu produk pangan. Salah satu metode yang tergolong relatif mudah dilakukan adalah evaluasi sensori. Berdasarkan standar ISO 16779:2015, masa simpan bahan pangan dapat ditentukan melalui pengamatan terhadap perubahan karakteristik sensori, seperti warna, aroma, rasa, dan tekstur, selama periode penyimpanan.

Metode evaluasi sensori sangat tepat digunakan untuk produk-produk pangan yang penurunan mutunya dapat dengan mudah dikenali melalui perubahan atribut sensori. Pengujian masa simpan dilakukan dengan cara mengamati perubahan sifat fisik produk yang dapat dianalisis atau dideteksi menggunakan indera manusia. Secara umum, pengamatan difokuskan pada atribut sensori utama yang menjadi karakteristik khas dari produk tersebut, seperti tekstur, warna, aroma, dan rasa.

Persiapan Pendahuluan

1. Penentuan Rentang Waktu Pengujian

Produk dengan masa simpan pendek (*Short shelf life product*)
Contoh: Produk yang disimpan dingin dengan penyimpanan hingga 1 minggu. Pengujian sampel sebaiknya dilakukan setiap hari.

Produk dengan masa simpan *sedang (Medium shelf life product*)
Contoh: Produk dengan perkiraan masa simpan hingga 4 minggu. Pengujian sampel sebaiknya dilakukan dengan selang 7 hari (0, 7, 14, 21 dan 28 hari)

Produk dengan masa simpan panjang (*Long shelf life product*)
Contoh: Produk dengan perkiraan masa simpan hingga 1 tahun. Pengujian sampel dapat dilakukan tiap bulan (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.....12 bulan)

Meskipun demikian, penentuan jadwal pengujian tetap harus mempertimbangkan karakteristik bahan dan kondisi penyimpanannya. Misalkan sebuah studi produk dengan masa simpan pendek untuk susu pasteurisasi dengan waktu penyimpanan maksimal 21 hari pada suhu 5°C dan delapan interval waktu. Salah satu kemungkinannya adalah dengan membagi interval waktu secara sama, yaitu melakukan pengujian sensori pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, dan 21 hari. Kemungkinan sampai 9 hari sangat kecil untuk terjadi perubahan sensori; dengan demikian, pengukuran pada hari ke 3 dan 6 tidak relevan. Dalam hal ini distribusi waktu yang lebih masuk akal adalah 0, 9, 12, 15, 17, 18, 19, dan 21 hari. Dengan demikian, pengetahuan tentang kinetika perubahan sensori yang terjadi selama penyimpanan penting dalam menentukan interval waktu.

2. Penentuan Deskriptor Kritis

Selama penyimpanan, perubahan sensori pada produk dapat diidentifikasi melalui satu atau lebih deskriptor. Salah satu deskriptor tersebut dapat berperan sebagai deskriptor kritis, yaitu parameter sensori yang paling awal dan paling mudah dikenali oleh panelis atau konsumen sebagai tanda terjadinya penurunan mutu. Deskriptor kritis ini merupakan atribut sensori yang bersifat negatif atau tidak diinginkan, yang kecenderungannya meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan, sehingga menjadi penentu batas akhir masa simpan produk.

Contoh deskriptor kritis antara lain adalah hilangnya kerenyahan pada biskuit atau memudarnya warna hijau pada sayuran. Sebagai ilustrasi, dalam pendugaan masa simpan produk seperti mayones, aroma dan rasa teroksidasi sering kali menjadi atribut yang paling mudah dikenali oleh panelis seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Oleh karena itu, rasa dapat ditetapkan sebagai deskriptor kritis karena menunjukkan perubahan mutu yang paling nyata dan mencolok. Beberapa contoh data perubahan mutu berbagai produk selama penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 36 - Tabel 40.

Tabel 36. Produk Buah dan Sayur

Produk	Mekanisme Kerusakan	Batas Perubahan
Buah lembut	Reaksi enzimatis Pertumbuhan kapang Kehilangan air	Pengempukan tekstur Terlihat adanya kapang Kenampakan kering
Buah kasar	Aktivitas enzim Kehilangan air	Pengempukan tekstur Kenampakan kering
Kentang	Aktivitas enzim Perkecambahan	Tekstur lembek Berkecambah, produksi toksin
Timun	Aktivitas enzim	Kehilangan tekstur renyah (pengempukan)
Salad sayur	Kehilangan air Oksidasi lemak	Kehilangan kekentalan saus, perubahan kenampakan, pertumbuhan mikroba Kehilangan kerenyahan Ketengikan
Salad	Kehilangan air Oksidasi	Kehilangan tekstur renyah Pencoklatan
Selai buah	Sineresis Oksidasi	Pemisahan serum, pertumbuhan kapang Hilangnya rasa
Buah kering	Aktivitas enzim Reaksi kimia	Pencoklatan Perubahan flavor

Sumber: Kilcast, D. (2011)

Tabel 37. Daging dan Produk Daging

Produk	**Mekanisme Kerusakan**	**Batas Perubahan**
Daging merah	Oksidasi Pertumbuhan mikroba	Kehilangan warna merah, tengik Terjadi bau menyimpang
Daging beku	Oksidasi Sublimasi es	Tengik *Freezer burn*
Ikan segar	Pertumbuhan mikroba Reaksi kimia	Pertumbuhan mikroba, bau menyimpang Perubahan kenampakan
Daging unggas segar	Pertumbuhan mikroba	Pertumbuhan mikroba, bau menyimpang
Sosis	Pertumbuhan mikroba Oksidasi	Mikroba Ketengikan
Daging babi asap	Pertumbuhan mikroba Oksidasi	Mikroba Ketengikan, perubahan warna
Ham kaleng	Reaksi kimia Kerusakan kaleng	Kehilangan flavor Pembentukan gas

Sumber: Kilcast, D. (2011)

Tabel 38. Produk Minuman

Produk	**Mekanisme Kerusakan**	**Batas Perubahan**
Minuman berkarbonasi	Kehilangan gas Hidrolisis Oksidasi	Kehilangan karbonasi Kehilangan flavor, bau menyimpang, Tengik
Bir	Oksidasi pertumbuhan mikroba	Rasa tidak enak Kekeruhan
Kopi	Kehilangan volatil Oksidasi	Perubahan flavor Tengik
Jus buah	Oksidasi Reaksi enzimatis	Kehilangan flavor Kekeruhan (*cloud instability*)
Teh	Kehilangan senyawa volatil Mengabsorpsi senyawa volatil	Kehilangan flavor Flavor menyimpang
Anggur merah	Oksidasi	Rasa yang tidak enak Perubahan warna
Minuman ringan rendah kalori	Hidrolisis	Kehilangan manis

Sumber: Kilcast, D. (2011)

Tabel 39. Serealia dan Produk Lainnya

Produk	Mekanisme Kerusakan	Batas Perubahan
Rerotian	Retrogradasi pati Migrasi air	Tekstur menjadi keras, kering Terjadi pertumbuhan kapang
Jajanan ringan	Menyerap air Oksidasi	Kehilangan tekstur renyah Tengik
Kue	Kehilangan air Perubahan struktur pati Pertumbuhan mikroba	Tekstur mengeras Permukaan mengering Pertumbuhan kapang
Pasta kering	Perubahan pati Perubahan protein	Perubahan tekstur, pecah, dan mengeras
Sereal sarapan	Migrasi air Retrogradasi pati Oksidasi	Kehilangan tekstur renyah (untuk sereal) Terjadi pengerasan (untuk komponen buah; jika ada) Tengik
Campuran kering	Penyerapan kelembapan	Penggumpalan Pencoklatan non-enzimatik
Rempah	Pertumbuhan mikroba Kehilangan volatil Reaksi kimia	Kapang, pertumbuhan mikroba Perubahan rasa Hilangnya warna
Permen cokelat	Migrasi lemak Oksidasi	Kristalisasi lemak (*blooming*) Perubahan tekstur Ketengikan
Permen gula	Penyerapan kelembapan Oksidasi	Perubahan tekstur Ketengikan

Sumber: Kilcast, D. (2011)

Tabel 40. Produk Susu

Produk	Mekanisme Kerusakan	Batas Perubahan
Es krim	Migrasi kelembapan Oksidasi	Pembentukan kristal es Ketengikan
Susu cair	Oksidasi, reaksi hidrolitik Pertumbuhan mikroba	Ketengikan dan rasa tidak enak lainnya
Susu bubuk	Penyerapan kelembapan Oksidasi	Penggumpalan Perubahan rasa, ketengikan
Mentega	Oksidasi	Ketengikan
Keju	Oksidasi Kristalisasi laktosa Pertumbuhan mikroba	Ketengikan Tekstur berpasir Kapang
Olesan rendah lemak	Pertumbuhan mikroba Oksidasi	Kapang Ketengikan
Yoghurt	Sineresis Oksidasi	Pemisahan serum Ketengikan
Yoghurt buah	Sineresis Oksidasi Mikroba	Pemisahan serum Ketengikan Kapang

Sumber: Kilcast, D. (2011)

3. Rancangan Pengujian Sampel

Pengujian sensori dalam analisis mutu dan masa simpan produk pangan dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu uji pembedaan dan uji hedonik. Salah satu metode yang umum digunakan dalam konteks penentuan masa simpan adalah uji pembedaan, yang lazim digunakan antara lain:

1) Uji segitiga (ISO 4120)
Uji segitiga umumnya digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan antara dua jenis produk (kontrol dan sampel yang disimpan). Pengujian dilakukan dengan meletakkan sampel dengan formasi dua dari tiga sampel tersebut adalah sama namun diberi label angka trivial berbeda.

2) Uji pembeda berpasangan (ISO 5495)
Uji pembedaan berpasangan dilakukan dengan menyajikan dua sampel (kontrol dan sampel yang telah disimpan dalam kondisi suhu dan waktu tertentu) kepada panelis. Dalam pengujian ini, sampel disajikan secara berpasangan.

3) Uji Duo-Trio (ISO 10399)
Tujuan dari uji duo-trio adalah untuk mengetahui adanya perbedaan didalam suatu kriteria mutu tertentu antara produk uji (sampel yang disimpan) dan produk pembanding (kontrol).

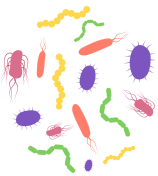
Sementara itu, pengujian sensori pada tingkat konsumen dapat dilakukan menggunakan uji hedonik, sebagaimana diatur dalam ISO 11136. Penilaian hedonik biasanya menggunakan skala 9. Skor antara 6 hingga 9 menunjukkan bahwa produk masih dapat diterima oleh konsumen, sedangkan skor 1 hingga 5 menandakan bahwa produk sudah tidak disukai.

Selain penilaian skor, uji hedonik juga dapat dilengkapi dengan pertanyaan tambahan seperti, "Apakah Anda akan mengonsumsi produk ini?" dengan pilihan jawaban terbatas "Ya" atau "Tidak". Tujuan dari pertanyaan ini adalah untuk mengukur tingkat penolakan konsumen terhadap produk. Jawaban "tidak" mengindikasikan adanya penolakan terhadap produk. Dalam analisis masa simpan, tingkat penolakan yang umum dijadikan acuan berkisar antara 25% hingga 50%.

4. Panelis

Pada uji pembedaan, disarankan menggunakan panelis terlatih sebanyak 10 hingga 15 orang. Panelis terlatih adalah individu yang memiliki kemampuan khusus untuk melakukan penilaian terhadap perubahan mutu produk secara objektif dan konsisten. Sementara, untuk uji hedonik, panelis yang digunakan dapat berasal dari kalangan konsumen (panelis tidak terlatih). Jumlah panelis konsumen yang ideal untuk uji hedonik adalah minimal 50 orang.

Jika UMKM atau pelaku industri pangan memiliki keterbatasan SDM dan dana, maka jumlah panelis bisa diturunkan menjadi 30 orang. Dengan 30 panelis, hasil tetap valid secara statistik, tetapi interpretasi harus lebih hati-hati dan sebaiknya dilaporkan sebagai keterbatasan studi (Guerra *et al*., 2008).



Untuk produk yang berpotensi mengandung mikroorganisme patogen, sebaiknya dilakukan pengujian mikrobiologis terlebih dahulu. Langkah ini bertujuan untuk memastikan keamanan sampel sebelum digunakan dalam pengujian sensori oleh panelis.

Jumlah dan ukuran sampel disesuaikan dengan jenis metode pengujian serta rentang waktu penyimpanan yang direncanakan. Apabila pengujian tidak memungkinkan dilakukan dalam beberapa hari yang berbeda, maka penyimpanan sampel sebaiknya diatur dengan perhitungan waktu mundur. Dengan cara ini, seluruh sampel yang mewakili berbagai lama penyimpanan dapat diuji dalam satu hari secara bersamaan, sehingga tetap mencerminkan perubahan mutu produk seiring waktu penyimpanan.

Pada setiap jeda antar pengujian sampel, panelis sebaiknya diberikan air minum atau makanan penetral rasa (seperti biskuit) guna menghilangkan sisa atribut sensori dari sampel sebelumnya, untuk menghindari kontaminasi sensori yang dapat memengaruhi objektivitas penilaian terhadap sampel berikutnya.

> Selain menyiapkan sampel uji yang telah disimpan, perlu juga disiapkan sampel kontrol sebagai pembanding. Sampel kontrol merupakan sampel yang baru diproduksi. Apabila tidak memungkinkan untuk memproduksi sampel baru setiap hari, maka sampel kontrol dapat disiapkan lebih awal, kemudian dikemas dan disimpan pada suhu yang meminimalkan perubahan mutu sensori, seperti dalam kondisi beku.

6. Studi Kasus

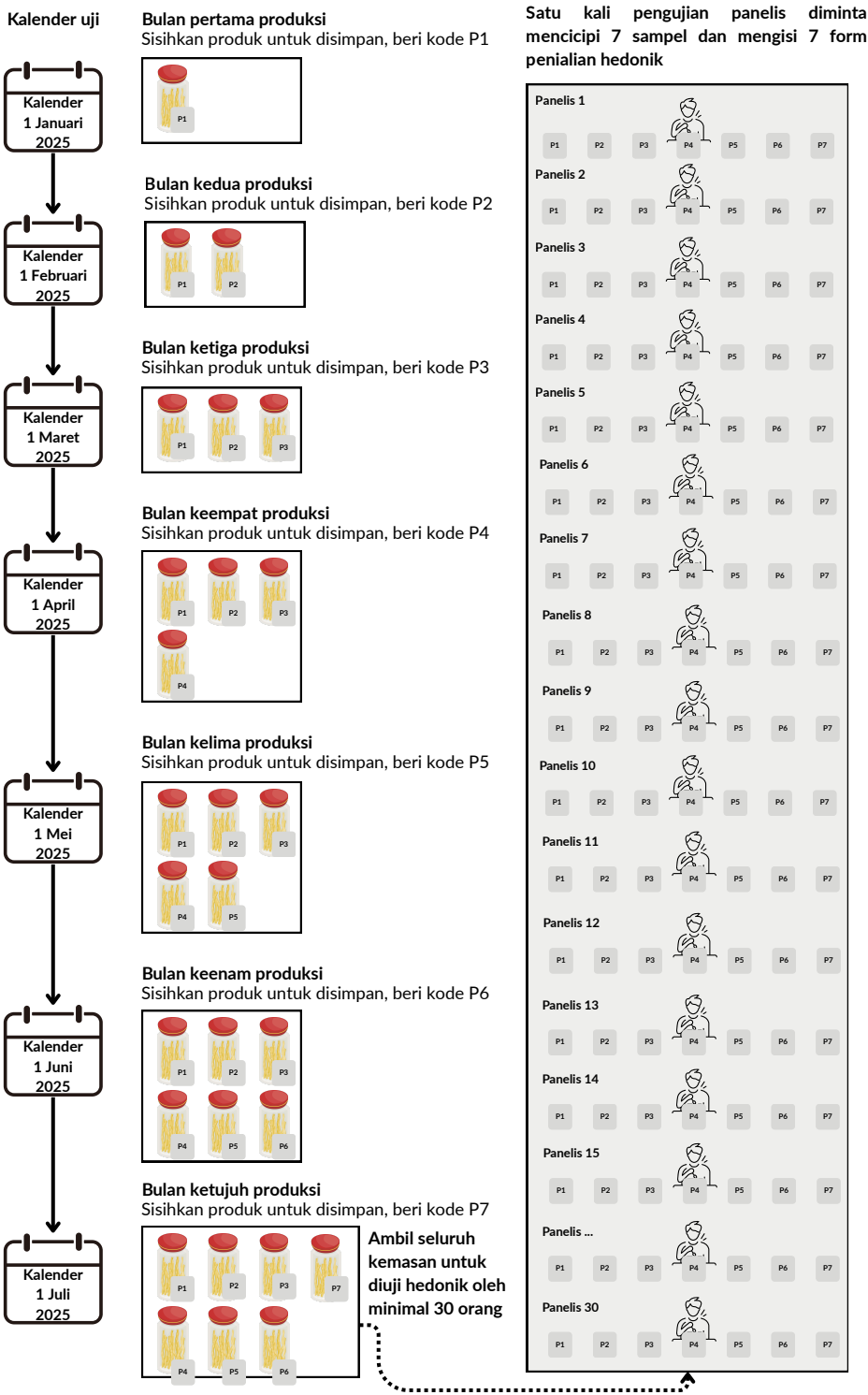
Buku ini akan menggunakan produk yang sama pada pengujian masa simpan dengan metode kadar air kritis. Penggunaan produk yang sama ini bertujuan untuk memvalidasi hasil prediksi dari matematis, apakah pengujian sesuai dengan metode pendekatan kadar air kritis dan evaluasi sensori.

Produk stik keju yang akan diproduksi menggunakan bahan baku seperti tepung terigu, tepung tapioka, telur, margarin, keju, garam dan penyedap rasa. Kemasan yang dipakai adalah kemasan aluminium digabungkan dengan plastik PET. Adapun produsen stik keju adalah Kelompok PKK di kelurahan Pancoran yang beralamatkan di Komplek Liga Mas RT 009, RW 002, Kelurahan Pancoran, Kecamatan Pancoran Jakarta Selatan. Proses produksi serta bentuk produk akhir stik keju ditunjukkan pada Gambar 39.

Gambar 39. Proses Produksi dan Produk Stik Keju

Penentuan masa simpan dimulai dari pengambilan sampel stik keju. Setiap bulan di tanggal yang sama, sampel diambil lalu disimpan di suhu ruang. Di bulan terakhir (bulan ke-7), dilakukan pengujian sensori menggunakan 30 panelis tidak terlatih (jumlah ini mempertimbangkan keterbatasan SDM dan dana). Pengujian sensori menggunakan metode *Survival Analysis Using Acceptability Scores*.

Merujuk pada Gimenez *et al*. (2008), untuk memperkirakan masa simpan menggunakan metode *Survival Analysis Using Acceptability Scores*, transformasi data dilakukan. Jika skor *acceptability* panelis untuk sebuah sampel adalah 1–5, maka penilaian tersebut diubah menjadi kata "Tidak," yang menunjukkan bahwa panelis tersebut tidak menyukai produk tersebut. Sebaliknya, jika skor panelis untuk sebuah sampel adalah 6–9, itu diganti dengan kata "Ya," yang menunjukkan bahwa panelis menyukai produk tersebut. Batas penolakan yang ditentukan untuk pengujian kali ini adalah sebanyak 30%.



Gambar 40. Alur Penyimpanan dan Pengujian Hedonik Stik Keju Selama 7 Bulan Produksi.

Pembahasan Hasil Uji Sensori

1) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut Warna

Perubahan warna pada produk stik keju selama penyimpanan merupakan salah satu indikator penurunan mutu yang penting karena dapat mempengaruhi persepsi konsumen terhadap mutu produk. Perubahan ini umumnya disebabkan oleh reaksi kimia maupun fisika yang dipicu oleh kombinasi antara faktor internal, yaitu komposisi bahan, dan faktor eksternal, seperti suhu, oksigen, cahaya, dan kelembapan udara. Salah satu mekanisme utama yang menyebabkan perubahan warna adalah fotooksidasi, yaitu proses degradasi senyawa kimia dalam bahan pangan akibat interaksi antara cahaya, oksigen, dan senyawa fotosensitif dalam produk (Kaczmarska *et al*., 2021).

Selain itu, stik keju umumnya mengandung bahan seperti keju, margarin, dan telur, semuanya merupakan sumber lemak, protein, dan pigmen alami (seperti beta-karoten) yang bersifat fotosensitif. Ketersediaan oksigen dalam ruang penyimpanan atau dalam kemasan bisa mempercepat proses fotooksidasi. Walaupun cahaya menjadi pemicu awal, reaksi tersebut tidak akan terjadi tanpa adanya oksigen yang bertindak sebagai reaktan utama dalam pembentukan radikal bebas dan oksigen singlet (Maqsood *et al*., 2014). Sebagimana hasil dari uji sensori atribut warna ditunjukkan pada Tabel 41, tingkat penolakan atribut warna berada di bulan ke-1 dengan persen penolakan sebesar 40%.

Menariknya beberapa panelis sudah menunjukkan penolakan bahkan pada saat awal produk baru diproduksi. Beberapa panelis memberikan nilai yang tidak terlalu baik pada atribut warna. Fenomena ini juga terjadi untuk atribut aroma (lihat Tabel 42), tekstur (lihat Tabel 43), rasa (lihat Tabel 44), dan *aftertaste* (lihat Tabel 45). Namun demikian, jumlah masih belum melewati batas penolakan yang ditentukan. Selain itu, persen penolakan pada atribut warna ini juga memperlihatkan adanya ketidakseragaman disetiap *batch* produksi (dapat dilihat dari variasi persen penolakan pada bulan penyimpanan yang berbeda, tidak ada pola linear dan cenderung acak). Hal ini bisa jadi akibat penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang tidak konsisten. Inkonsistensi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu perbedaan mutu maupun ketepatan penimbangan komposisi bahan, variasi kondisi proses pengolahan, maupun cara penyimpanan pascaproduksi. Apabila tidak dikendalikan, hal ini dapat mengurangi kepercayaan konsumen terhadap mutu produk secara keseluruhan.

Tabel 41. Hasil Uji Sensori Atribut Warna

Panelis	Bulan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
1	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
2	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
3	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
4	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
5	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak
6	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
7	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
8	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
9	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
10	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
11	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
12	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya
13	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
14	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
15	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
16	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
17	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
18	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
19	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
20	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
21	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya
22	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak
23	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
24	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
25	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
26	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
27	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
28	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
29	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
30	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
%Penolakan	17%	40%	33%	27%	23%	30%	33%	30%

2) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut Aroma

Perubahan aroma merupakan salah satu indikator penurunan mutu sensori pada produk pangan seperti stik keju. Aroma yang tidak diinginkan biasanya muncul selama penyimpanan dan menjadi tanda bahwa telah terjadi reaksi kimia yang merusak komponen volatil yang semula memberikan aroma khas produk tersebut. Salah satu penyebab utama perubahan ini adalah reaksi oksidasi, terutama pada komponen lemak dan protein yang menjadi bagian penting dari formulasi stik keju (Maqsood *et al*., 2014).

Lemak, khususnya asam lemak tak jenuh, sangat rentan terhadap oksidasi. Ketika terjadi reaksi oksidasi, asam lemak ini akan membentuk senyawa volatil seperti aldehid (misalnya hexanal, nonanal), keton, alkohol, dan asam lemak bebas, yang memberikan aroma tengik, asam, atau tidak segar (Zhou *et al*., 2019). Selain lemak, protein dalam telur dan keju juga dapat mengalami oksidasi. Proses ini menghasilkan senyawa seperti amina volatil, aldehid, dan senyawa sulfur yang memberikan aroma seperti amis, busuk, atau menyengat (Estévez & Luna, 2017). Hasil dari uji sensori atribut aroma ditunjukkan pada Tabel 42. Berdasarkan uji evaluasi sensori, tingkat penolakan atribut aroma diatas 30% dari bulan ke-2 sampai dengan bulan ke-7.

Menariknya, pada bulan ke-5 nilai persen penolakan sedikit menurun dari 60% menjadi 50%, kemudian kembali meningkat signifikan menjadi 57% pada bulan ke-6, dan sedikit menurun menjadi 53% pada bulan ke-7. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh variasi subjektivitas penilaian yang diberikan oleh panelis dalam menilai intensitas perubahan aroma atau adanya perbedaan kondisi antar *batch* produksi. Meski demikian, tren secara umum tetap menunjukkan kecenderungan peningkatan penolakan seiring dengan bertambahnya masa simpan.

Gambar 41. Uji sensori atribut aroma

Tabel 42. Hasil Uji Sensori Atribut Aroma

Panelis	Bulan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
1	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
3	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
4	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya
5	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
7	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
8	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
9	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
10	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
11	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
12	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
13	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
14	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
15	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
16	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
17	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
18	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
19	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
20	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
21	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
22	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
24	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
25	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
26	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
27	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
28	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
29	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
30	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
%Penolakan	17%	27%	47%	53%	60%	50%	57%	53%

3) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut Tekstur

Tekstur merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian mutu sensori produk pangan. Perubahan tekstur dapat mempengaruhi persepsi konsumen terhadap kerenyahan, kerapuhan, dan kekenyalan produk. Kadar air berperan dalam menentukan dan mempertahankan tekstur pada produk makanan kering seperti stik keju. Perubahan kadar air selama penyimpanan, baik karena hilangnya air (dehidrasi) maupun penyerapan air (rehidrasi), akan berdampak langsung pada karakteristik fisik, terutama kerenyahan, kekerasan, dan kerapuhan stik keju.

Salah satu penyebab utama menurunnya kerenyahan stik keju selama penyimpanan adalah penyerapan air dari lingkungan. Stik keju adalah produk yang kadar airnya rendah, dan secara alami bersifat higroskopis, yaitu mudah menyerap air dari udara lingkungan, sehingga mudah menyerap kelembapan dari udara, terutama bila disimpan dalam kemasan yang tidak kedap (Kumar *et al*., 2020). Hasil dari uji sensori atribut tekstur ditunjukkan pada Tabel 43. Berdasarkan uji evaluasi sensori, tingkat penolakan atribut tekstur mengalami penolakan dibulan ke-2 sampai ke-7.

Secara umum, data ini memperlihatkan tren peningkatan penolakan yang cukup konsisten, terutama setelah bulan ke-3. Perubahan ini dapat dijelaskan oleh meningkatnya kadar air dalam produk akibat penyerapan kelembapan selama penyimpanan, sehingga tekstur renyah berkurang dan digantikan oleh tekstur yang lebih keras atau lembek. Faktor kemasan yang kurang optimal dalam melindungi produk dari uap air kemungkinan besar menjadi salah satu penyebab utama penurunan mutu tekstur.

Oleh karena itu, salah satu strategi pengendalian mutu yaitu pada pemilihan bahan kemasan yang memiliki sifat barrier (pelindung yang menghalangi sesuatu) yang lebih baik terhadap uap air, serta penyimpanan produk pada kondisi kelembapan relatif rendah. Langkah ini diharapkan mampu memperpanjang masa simpan produk dengan tetap mempertahankan kerenyahan tekstur yang menjadi daya tarik utama stik keju.

Tabel 43. Hasil Uji Sensori Atribut Tekstur

Panelis	Bulan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
1	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
3	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
4	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
5	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
7	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
8	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
9	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
10	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
11	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
12	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
13	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
14	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
15	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
16	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak
17	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
18	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya
19	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
20	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
21	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
22	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
24	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
25	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
26	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
27	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya
28	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
29	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
30	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
%Penolakan	17%	23%	30%	37%	47%	47%	47%	57%

4) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut Rasa

Selama penyimpanan, rasa dapat berubah karena berbagai reaksi kimia dan fisik yang terjadi pada bahan penyusunnya, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, cahaya, dan keberadaan oksigen. Perubahan ini bisa menghasilkan rasa asam, tengik, pahit, atau hambar, yang menurunkan mutu sensori produk. Lemak dalam keju dan margarin juga rentan terhadap reaksi oksidasi, terutama ketika produk disimpan pada suhu tinggi atau terpapar cahaya dan udara (O_2). Reaksi ini menghasilkan senyawa volatil seperti aldehid, keton, dan asam lemak bebas yang memberikan rasa tengik (Maqsood *et al*., 2014).

Kemasan yang tidak kedap dapat menyebabkan stik keju menyerap senyawa volatil dari udara atau lingkungan sekitar, seperti bau bahan plastik, rempah lain, atau bahkan aroma tengik dari udara yang teroksidasi, menghasilkan rasa asing (off-flavor) (Robertson, 2005). Hasil dari uji sensori atribut rasa ditunjukkan pada Tabel 44. Berdasarkan uji evaluasi sensori, nilai persen penolakan atribut rasa diatas 30% dimulai dari bulan ke-2 sampai dengan bulan ke-7. Dapat diartikan bahwa panelis tidak menyukai rasa dari stik keju mulai dari bulan ke-2, hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar panelis sudah mulai mendeteksi rasa asing yang tidak sesuai dengan karakteristik dari stik keju.

Berdasarkan data yang ada, dapat disimpulkan bahwa atribut rasa pada stik keju cukup rentan mengalami perubahan, hal ini ditunjukkan dengan nilai persen penolakan yang semakin besar seiring waktu penyimpanan. Untuk itu, penting dilakukan pengendalian faktor penyebab penurunan mutu rasa, seperti oksidasi lemak dan interaksi dengan senyawa volatil dari lingkungan agar mutu sensori tetap terjaga. Selain itu, penggunaan kemasan dengan daya tahan tinggi terhadap oksigen dan cahaya, serta penyimpanan pada kondisi sesuai, menjadi strategi untuk mempertahankan mutu rasa stik keju.

Tabel 44. Hasil Uji Sensori Atribut Rasa

Panelis	Bulan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
1	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
2	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
3	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
4	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
5	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
7	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
8	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
9	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
10	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
11	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
12	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
13	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
14	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
15	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak
16	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
17	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
18	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak
19	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
20	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
21	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
22	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak
24	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
25	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
26	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
27	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
28	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
29	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
30	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
%Penolakan	10%	23%	40%	33%	70%	60%	43%	60%

5) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut *Aftertaste*

Aftertaste tengik yang dirasakan panelis pada produk stik keju kemungkinan besar disebabkan oleh proses oksidasi lemak yang terjadi selama penyimpanan. Stik keju mengandung sumber lemak dari bahan seperti keju dan margarin, yang kaya akan asam lemak tak jenuh, terutama asam linoleat dan oleat (Zhang *et al*., 2020). Lemak jenis ini sangat rentan terhadap oksidasi, terlebih ketika produk disimpan dalam waktu lama dan pada kondisi lingkungan yang tidak optimal seperti suhu tinggi dan paparan udara.

Akibatnya, panelis memberikan skor yang rendah pada atribut *aftertaste*, karena munculnya rasa tengik yang menutupi karakteristik rasa asli stik keju. Menurut Delahunty *et al*. (2006), senyawa volatil hasil oksidasi dapat menetap di area retronasal dan menyebabkan persepsi flavor negatif yang berkepanjangan, meskipun makanan telah ditelan. Jika stik keju disimpan dalam kemasan yang tidak kedap aroma, produk dapat menyerap senyawa dari udara seperti bau plastik, karton, atau udara lembab, yang akan menetap di mulut sebagai *aftertaste* tidak alami (Robertson, 2005). Hasil dari uji sensori atribut *aftertaste* ditunjukkan pada Tabel 45. Berdasarkan uji evaluasi sensori, tingkat penolakan atribut *aftertaste* diatas 30% dari bulan ke-1 sampai dengan bulan ke-7.

Tabel 45. Hasil Uji Sensori Atribut *Aftertaste*

Panelis	Bulan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
1	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
3	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak
4	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
5	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
7	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
8	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
9	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
10	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
11	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
12	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
13	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
14	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
15	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
16	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
17	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak
18	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
19	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
20	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
21	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
22	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
24	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
25	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
26	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak
27	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
28	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak
29	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
30	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya
%Penolakan	17%	30%	40%	40%	60%	60%	57%	53%

6) Tingkat Penerimaan Untuk Atribut Keseluruhan

Tabel 46. Hasil Uji Sensori Atribut Keseluruhan

Panelis	Bulan							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak
3	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
4	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
5	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
7	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak
8	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
9	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya
10	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
11	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
12	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
13	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya
14	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
15	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
16	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
17	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Ya
18	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
19	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
20	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
21	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak
22	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
24	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
25	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
26	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
27	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
28	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
29	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
30	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya	Tidak
%Penolakan	0%	10%	27%	13%	57%	37%	33%	33%

Hasil dari uji sensori atribut keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 47 yang memberikan gambaran keseluruhan dari semua atribut sensori yang diuji. Penolakan keseluruhan melonjak ke 57% pada bulan ke-4. Hal ini konsisten dengan hasil aroma, tesktur dan rasa yang juga mulai ditolak oleh panelis sejak bulan ke-2.

7) Penentuan Masa Simpan Metode Sensori

Hasil uji sensori nilai penerimaan sensori dari berbagai waktu penyimpanan pada Tabel 47.

Tabel 47. Hasil uji sensori nilai penerimaan sensori dari berbagai waktu penyimpanan

Parameter	Persen Penolakan Sensori dari Berbagai Waktu Penyimpanan							
	0 bulan	1 bulan	2 bulan	3 bulan	4 bulan	5 bulan	6 bulan	7 bulan
Warna	17%	40%	33%	27%	23%	30%	33%	30%
Aroma	17%	27%	47%	53%	60%	50%	57%	53%
Tekstur	17%	23%	30%	37%	47%	47%	47%	57%
Rasa	10%	23%	40%	33%	70%	60%	43%	60%
Aftertaste	17%	30%	40%	40%	60%	60%	57%	53%
Penilaian Keseluruhan	0%	10%	27%	13%	57%	37%	33%	33%

Langkah Analisis:

1. *Cut off* 30% → artinya jika nilai penolakan sensori mencapai ≥30% pada salah satu parameter utama, produk dianggap tidak diterima lagi.
2. Kita lihat kapan waktu pertama kali nilai penolakan tiap parameter melewati angka 30%.

Kesimpulan:

- Karena warna dan aftertaste sudah ditolak lebih dari 30% di bulan ke-1, sebenarnya umur simpan terpendek yang terdeteksi adalah 1 bulan.
- Namun, untuk parameter kunci lainnya (aroma, tekstur, rasa, penilaian keseluruhan), produk baru melewati batas 30% pada bulan ke-2–4.
- Dengan demikian, bila kita mempertimbangkan kriteria paling ketat (parameter manapun yang melewati cut off) → umur simpan = 1 bulan.
- Jika menggunakan penilaian keseluruhan sebagai penentu utama → umur simpan = 3 bulan.

Jadi, keputusan akhir tergantung pertimbangan yang dipakai:

- Konservatif (ketat, semua parameter dihitung) → umur simpan 1 bulan.
- Berdasarkan keseluruhan penerimaan konsumen (*overall acceptance*) → umur simpan 3 bulan. Hasil ini lebih mendekati hasil pengujian dengan pendekatan kadar air kritis (2 bulan 19 hari).

Pengujian masa simpan bukanlah layanan yang murah, namun bukan berarti tidak dapat dijangkau oleh pelaku usaha skala kecil maupun menengah. Dengan memahami berbagai pendekatan seperti persamaan Arrhenius untuk memperkirakan laju perubahan mutu, kadar air kritis sebagai indikator kestabilan produk kering, dan evaluasi sensori untuk menilai penerimaan konsumen, pelaku usaha dapat melakukan pengujian masa simpan secara lebih mandiri namun tetap sesuai dengan prosedur standar yang ideal. Case study dan contoh penerapan dari ketiga metode ini dapat menjadi referensi praktis sekaligus inspiratif. Sebab pada akhirnya, kemandirian dalam pengujian masa simpan bukan hanya menghemat biaya, tetapi juga membangun kesadaran akan pentingnya mutu dan keamanan pangan secara berkelanjutan.

Daftar Pustaka

Abebe, E., Gugsa, G., & Ahmed, M. (2020). Review on Major Food-Borne Zoonotic Bacterial Pathogens. Journal of Tropical Medicine.

Abidin, Z., & Hassan, S. (2023). A Review of Factors Affecting Enzymatic Hydrolysis of Food Waste. Journal of Wastes and Biomass Management.

Ab Rahman, S., Sulaiman, N. M. N., & Othman, Z. (2022). Food Safety Management Practices and Food Quality in Small and Medium Enterprises. Food Control, 137, 108963.

Adamchuk, T., Holinko, O., & Levytska, N. (2020). Substantiation of the Sell-By Date of Food Products. 52, 59-63.

Alamuoye, O., Alamuoye, N. O., & Olowoyeye, J. (2024). Sorption Isotherm and Effect of Packaging Materials on Proximate, Organoleptic and Lipid Oxidation Quality of Chicken Nuggets Stored at Two Different Temperatures. European Journal of Nutrition & Food Safety, 16(5), 1-12.

Alfiyani, N., Wulandari, N. ., & Adawiyah, D. R. (2020). Validasi Metode Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan Renyah dengan Metode Kadar Air Kritis. Jurnal Mutu Pangan : Indonesian Journal of Food Quality, 6(1), 1-8.

Ali, M., Hashim, N., Aziz, A., & Lasekan, O. (2022). Shelf Life Prediction and Kinetics of Quality Changes in Pineapple (*Ananas comosus*) Varieties at Different Storage Temperatures. Horticulturae.

Ali, S., Wani, W. A., & Rather, S. A. (2023). Recent Advances in Accelerated Shelf-Life Testing Techniques: A Critical Review. Trends in Food Science & Technology, 134, 148–160.

Asiah, N., Cempaka, L., dan David, W. (2018). Panduan Praktis Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan. Jakarta: Universitas Bakrie Press.

Asiah, N. & Djaeni, M. (2021). Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan. Malang : AE Publishing.

Asiah, N., Cempaka, L., Ramadhan, K., & Matula, S. H. (2020). Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan pada Suhu Rendah. Makassar: Nas Media Pustaka.

Asiah, N. & Nurenik. (2024). Cerdas Mengelola Kebun Hingga Sampai Dapur. Jakarta: Universitas Bakrie Press.

Asiah, N., Fairus, S., Violent., Gosal, P. N., & Alfarezi, R. (2024). Belajar Hidup Minim Sampah Mulai dari Dapur Rumah. Jakarta: Universitas Bakrie Press.

Ayu, D. F., Nurmadhona, N., & Efendi, R. (2023). Shelf-Life Estimation Of Pineapple Chips By A Water Sorption Isotherm Curve Approach. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 17(2), 458-465.

Azad, Z., Ahmad, M., & Siddiqui, W. (2019). Food Spoilage and Food Contamination. Health and Safety Aspects of Food Processing Technologies.

Badan POM RI. (2024). Pedoman Penetapan Masa Simpan untuk Pangan Olahan yang Diproduksi oleh Usaha Mikro dan Usaha Kecil (UMK). Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia: Jakarta.

Badin, E., Quevedo-León, R., Ibarz, A., Ribotta, P., & Lespinard, A. (2021). Kinetic Modeling of Thermal Degradation of Color, Lycopene, and Ascorbic Acid in Crushed Tomato. Food and Bioprocess Technology, 14, 324 - 333.

Berzina, I., & Spalvins, K. (2023). Fungal Hydrolysis of Food Waste: Review of Used Substrates, Conditions, and Microorganisms. Environmental and Climate Technologies, 27, 639 - 653.

Boekel, M. (2008). Kinetic Modeling of Reactions In Foods. CRC Press.

Borrajo, P., López-Pedrouso, M., Franco, D., Pateiro, M., & Lorenzo, J. (2020). Antioxidant and Antimicrobial Activity of Porcine Liver Hydrolysates Using Flavourzyme. Applied Sciences.

Brečić, R., Mesić, Ž., & Cerjak, M. (2017). Importance of Intrinsic and Extrinsic Quality Food Characteristics by Different Consumer Segments. British Food Journal, 119, 845-862.

Buratti, S., Malegori, C., Benedetti, S., Oliveri, P., & Giovanelli, G. (2018). E-Nose, E-Tongue and E-Eye for Edible Olive Oil Characterization and Shelf Life Assessment: A Powerful Data Fusion Approach. Talanta, 182, 131-141.

Butler, F., Hunt, K., Redmond, G., dOnofrio, F., Barron, U., Fernandes, S., Cadavez, V., Iannetti, L., Centorotola, G., Pomilio, F., Diaz, A., Rodríguez, F., & Luque, O. (2023). Application of Novel Predictive Microbiology Techniques to Shelf-Life Studies on *Listeria monocytogenes* in Ready-To-Eat Foods (ListeriaPredict). EFSA Supporting Publications.

Calle, M., Hough, G., Curia, A., & Gómez, G. (2006). Bayesian Survival Analysis Modeling Applied to Sensory Shelf Life of Foods. Food Quality and Preference, 17, 307-312.

Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M., & Nicoli, M. (2016). Shelf-life Assessment of Food Undergoing Oxidation–A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 56, 1903 - 1912.

Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M., & Nicoli, M. C. (2019). Accelerated Shelf Life Testing. Food Quality and Shelf Life, 359–392.

Cantley, C., & Verburg-Hamlett, J. (2021). Shelf life of food: An overview (BUL 838). University of Idaho Extension.

Cardona, M., Izquierdo, D., Barat, J., & Fernández-Segovia, I. (2023). Intrinsic and Extrinsic Attributes that Influence Choice of Meat and Meat Products: Techniques Used in Their Identification. European Food Research and Technology, 249, 2485-2514.

Chen, B., Mei, J., & Xie, J. (2024). Effects of Packaging Methods and Temperature Variations on the Quality and Microbial Diversity of Grouper (*Epinephelus Lanceolatus*) During Cold Storage. Food Bioscience.

Cheng, S., Qin, Y., Mao, Y., Cao, Y., Zheng, R., Han, J., Tian, S., & Qin, Z. (2024). "Reference Sample Comparison Method": A New Voltammetric Electronic Tongue Method and Its Application in Assessing the Shelf Life of Fresh Milk. Food chemistry, 463 Pt 1, 141064.

Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranuhwat, N. (2022). Kinetic Modeling of Quality Changes and Shelf Life Prediction of Dried Coconut Chips. Processes.

Chu, W., Williams, H., Verghese, K., Wever, R., & Glad, W. (2020). Tensions and Opportunities: An Activity Theory Perspective on Date and Storage Label Design through a Literature Review and Co-Creation Sessions. Sustainability.

Chung, H., Ryu, D., & Park, H. (2021). Consumers' Perception of Food Quality: A Systematic Review of 10 Years of Studies. Journal of Food Quality, 2021, 8856349.

Chutia, H., & Mahanta, C. (2021). Influence of Cold Plasma Voltage and Time on Quality Attributes of Tender Coconut Water (*Cocos nucifera L.*) and Degradation Kinetics of Its Blended Beverage. Journal of Food Processing and Preservation.

Corradini, M. G. (2018). Shelf Life of Food Products: From Open Labeling to Real-Time Measurements. Annual Review of Food Science and Technology, 9(1), 251-269.

D'Amato, A., Goeschl, T., Lorè, L., & Zoli, M. (2023). True to type? EU-style date Marking and the Valuation of Perishable Food. Food Policy.

Da Silva, I., Magnani, M., Esmerino, E., Filho, E., Cruz, A., & Pimentel, T. (2025). Preferred Attribute Elicitation (PAE) in the Sensory Descriptive Analysis of Foods: A Deep Comprehensive Review of the Method Steps, Application, Challenges, and Trends. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 24.

Dar, B., Shah, M., & Mir, S. (2022). Shelf Life and Food Safety. CRC Press.

Davies, M., & Thomas, A. (1973). An Investigation of Hydrolytic Techniques for the Amino Acid Analysis of Foodstuffs. Journal of the Science of Food and Agriculture, 24 12, 1525-40.

Del Nobile, M., & Conte, A. (2023). Secondary Shelf Life of Foods: State of the Art and Future Perspective. Food Engineering Reviews, 15, 748-762.

Delahunty, C. M., Eyres, G., & Dufour, J. P. (2006). Gas chromatography-olfactometry. Journal of Chromatography A, 1112(1-2), 123–134.

Djekić, I., Velebit, B., Pavlić, B., Putnik, P., Šojić Merkulov, D., Bebek Markovinović, A., & Bursać Kovačević, D. (2023). Food Quality 4.0: Sustainable Food Manufacturing for the Twenty-First Century. Food Engineering Reviews.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F., Zhang, W., & Lorenzo, J. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. Antioxidants, 8.

Dopazo, V., Illueca, F., Luz, C., Musto, L., Moreno, A., Calpe, J., & Meca, G. (2023). Evaluation of Shelf Life and Technological Properties of Bread Elaborated with Lactic Acid Bacteria Fermented Whey as a Bio-preservation Ingredient. LWT.

Ekafitri, R., Kurniawan, Y. R., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Indriati, A. (2020). Shelf Life Assessment Of Energy Banana Bar Using Acceleration Method With Critical Moisture Content Approach. Food Science and Technology, 41, 163-168.

El-Sayed, R. A., Jebur, A. B., Kang, W., & El-Demerdash, F. M. (2022). An Overview on The Major Mycotoxins in Food Products: Characteristics, Toxicity, and Analysis. Journal of Future Foods, 2(2), 91–102.

Endara, P., Wiedmann, M., & Adalja, A. (2023). Consumer Willingness to Pay for Shelf Life of High Temperature, Short Time Pasteurized Fluid Milk: Implications for Smart Labeling and Food Waste Reduction. Journal of Dairy Science.

Erkmen, O., & Bozoğlu, T. (2016). Indicators of Food Spoilage. , 407-412.

Estévez, M., & Luna, C. (2017). Oxidation of Proteins and Amino Acids During Food Processing and Storage. Food Research International, 100, 112–123.

Feofilaktova, O., Zavorokhina, N., & Makarova, E. (2024). Application of Accelerated Shelf-Life Testing for Determination of Bioactive Emulsion Food Systems' Shelf Life. E3S Web of Conferences.

Fiorentini, M., Kinchla, A., & Nolden, A. (2020). Role of Sensory Evaluation in Consumer Acceptance of Plant-Based Meat Analogs and Meat Extenders: A Scoping Review. Foods, 9.

Food Standards Scotland. (2025). Shelf-life guidance : Guidance for Food Businesses for The Setting of Product Shelf-Life.

Frangopoulos, T., Koliouskas, A., & Petridis, D. (2025). Sensory Shelf Life of Pasteurized Orange Juice Stored Under Different Temperature Levels Using Inverse Time Sampling and a Balanced Incomplete Block Design. Applied Sciences.

Freitas, M., & Costa, J. (2006). Shelf Life Determination Using Sensory Evaluation Scores: A General Weibull Modeling Approach. Computer and Industrial Engineering., 51, 652-670.

Friedman, M. (1996). Food Browning and its prevention: an Overview. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 631-653.

Gangsei, L., Skjerdal, T., Alvseike, O., Kausrud, K., & Hauge, S. (2024). Extension of The Gamma Concept to Handle Changing Environment During Shelf-Life. Applied to an Example with *Listeria monocytogenes* in Salads with Changing pH. Food Control.

Giménez, A. N. A., Ares, G., & Gambaro, A. (2008). Survival Analysis to Estimate Sensory Shelf Life Using Acceptability Scores. Journal of Sensory Studies, 23(5), 571-582.

Giménez, A., Ares, F., & Ares, G. (2012). Sensory Shelf-Life Estimation: A Review of Current Methodological Approaches. Food Research International, 49, 311-325.

Giménez, A., Gagliardi, A., & Ares, G. (2017). Estimation of Failure Criteria in Multivariate Sensory Shelf Life Testing Using Survival Analysis. Food Research International, 99 Pt 1, 542-549.

Gomes, T., Martinelli, S. S., Soares, P., & Cavalli, S. B. (2024). What Is Quality Food? The Opinion of Key of the Brazilian Food System. Nutrients.

Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bruhn, J., Christensen, A., & Givskov, M. (2002). Food Spoilage-Interactions Between Food Spoilage Bacteria. International Journal of Food Microbiology, 78 1-2, 79-97.

Grassi, S., Benedetti, S., Casiraghi, E., & Buratti, S. (2023). E-Sensing Systems for Shelf Life Evaluation: A Review on Applications to Fresh Food of Animal Origin. Food Packaging and Shelf Life.

Guerra, S., Lagazio, C., Manzocco, L., Barnabà, M., & Cappuccio, R. (2008). Risks and Pitfalls of Sensory Data Analysis for Shelf Life Prediction: Data Simulation Applied to The Case of Coffee. Lwt - Food Science and Technology, 41, 2070-2078.

Hariyadi, P. (2019). Masa Simpan dan Batas Kedaluwarsa Produk Pangan: Pendugaan, Pengelolaan, dan Penandaannya. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Hassoun, A., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Trif, M., Rusu, A., Aadil, R. M., Šimat, V., Cropotova, J., & Câmara, J. (2022). Food quality 4.0: From Traditional Approaches to Digitalized Automated Analysis. Journal of Food Engineering.

He, M., Sun, Y., Zou, D., Yuan, H., Zhu, B., Li, X., & Pang, Y. (2012). Influence of Temperature on Hydrolysis Acidification of Food Waste. Procedia Environmental Sciences, 16, 85-94.

Hennebelle, M., Villeneuve, P., Durand, E., Lecomte, J., Van Duynhoven, J., Meynier, A., Yesiltas, B., Jacobsen, C., & Berton-Carabin, C. (2024). Lipid Oxidation in Emulsions: New Insights from The Past Two Decades. Progress in Lipid Research, 101275.

Herbon, A. (2023). Shelf-Life Extension under Implementation Costs. Computers & Industrial Engineering, 182, 109283.

Hidayati, S., Sartika, D., Sutoyo, S., & Fudholi, A. (2022). Predict the Shelf Life of Instant Chocolate in Vacuum Packing by Using Accelerated Shelf Life Test (ASLT). Mathematical Modelling of Engineering Problems.

Horstmann, S., Lynch, K., & Arendt, E. (2017). Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. Foods, 6(4), 29.

Hough, G. (2010). Sensory Shelf Life Estimation of Food Products. CRC: Boca Raton, FL.

Hough, G., & Garitta, L. (2012). Methodology for Sensory Shelf-Life Estimation: A Review. Journal of Sensory Studies, 27, 137-147.

Hough, G., Langohr, K., Gómez, G., & Curia, A. (2003). Survival Analysis Applied to Sensory Shelf Life of Foods. Journal of Food Science, 68, 359-362.

Jääskeläinen, E., Hultman, J., Parshintsev, J., Riekkola, M., & Björkroth, J. (2016). Development of Spoilage Bacterial Community and Volatile Compounds in Chilled Beef Under Vacuum or High Oxygen Atmospheres. International Journal of Food Microbiology, 223, 25-32 .

Jalilzadeh, A., Y. Tunçtürk, and J. Hesari. 2015. “Extension Shelf Life of Cheese: A Review.” International Journal of Dairy Science 10(2): 44–60. doi: 10.3923/ijds.2015.44.60.

Jameel, A., & Fakih, R. (2011). Diffusion-Reaction of Nutrient in Immobilized Slab Biocatalyst for First and Zero Order Reactions.

Kaczmarska, M., Rosicka-Kaczmarek, J., & Masewicz, Ł. (2021). The Effect of Light on The Stability of Natural Pigments in Food Systems. Foods, 10(6), 1234.

Kandoli, L. (2022). Effect of Food Shelf Life on Food Quality. Journal of Advances in Humanities and Social Sciences.

Karanth, S., Feng, S., Patra, D., & Pradhan, A. K. (2023). Linking Microbial Contamination to Food Spoilage and Food Waste: The Role of Smart Packaging, Spoilage Risk Assessments, and Date Labeling. Frontiers in Microbiology, 14.

Kathuria, D., , H., Gautam, S., & Thakur, A. (2023). Maillard Reaction in Different Food Products: Effect on Product Quality, Human Health and Mitigation Strategies. Food Control.

Kavanaugh, M., & Quinlan, J. (2020). Consumer Knowledge and Behaviors Regarding Food Date Labels and Food Waste. Food Control.

Kilcast, D. & P. Subramaniam. (2000). The Stability and Shelf life of food. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.

Kilcast, D. (2011). Sensory Evaluation Methods For Food Shelf Life Assessment. In Food and Beverage Stability and Shelf Life (pp. 350-380). Woodhead Publishing.

Koutsoumanis, K., & Nychas, G. (2000). Application of a Systematic Experimental Procedure to Develop a Microbial Model for Rapid Fish Shelf Life Predictions. International Journal of Food Microbiology, 60 2-3, 171-84 .

Kumar, A., Saha, S., & Alam, M. S. (2020). Role of Moisture Content in Food Quality and Shelf Life: A Comprehensive Review. Journal of Food Science and Technology, 57(10), 3621–3635.

Kusumawardani, H. D., Riyanto, S., Setianingsih, I., Puspitasari, C., Juwantoro, D., Harfana, C., & Ayun, P. D. (2018). Kandungan Gizi, Organoleptik, dan Umur Simpan Biskuit dengan Substitusi Tepung Komposit (Daun Kelor, Rumput Laut, dan Pisang). Media Gizi Mikro Indonesia, 9(2), 123-138.

Labuza, T., & Schmidl, M. (1985). Accelerated Shelf-Life Testing of Foods. Food Technology, 39 (9), 57-62, 64, 134.

Lapeña, D., Vuoristo, K., Kosa, G., Horn, S., & Eijsink, V. (2018). Comparative Assessment of Enzymatic Hydrolysis for Valorization of Different Protein-Rich Industrial Byproducts. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66 37, 9738-9749.

Lee, H. S., Kim, Y. J., & Lee, J. H. (2021). Evaluation of Microbial and Chemical Quality Indicators for Shelf-Life Determination of Processed Food. Food Science and Biotechnology, 30(2), 255–262.

Lee, J.-H., Moon, H., Park, H.-R., Noh, J.-I., & Kim, S.-S. (2025). Metagenomic Analysis of Raw Milk and The Inactivation of Foodborne Pathogens Using Ultraviolet-C. Foods, 14(4), 102921.

Li, C., & Hu, Y. (2021). Effects of Acid hydrolysis on The Evolution of Starch Fine Molecular Structures and Gelatinization Properties. Food Chemistry, 353, 129449 .

Li, X., Gu, N., Huang, T. Y., Zhong, F., & Peng, G. (2023). *Pseudomonas aeruginosa*: A Typical Biofilm Forming Pathogen and an Emerging but Underestimated Pathogen in Food Processing. Frontiers in Microbiology, 13.

Lima, L., Pereira, A., Pintado, M., Carocho, M., & Barros, L. (2023). Multivariate Analysis in Accelerated Shelf-Life Assessment—An Overview. The 4th International Electronic Conference on Applied Sciences.

Liu, D., Xu, C., Guo, C., & Zhang, X. (2020). Sub-zero Temperature Preservation of Fruits and Vegetables: A Review. Journal of Food Engineering, 275, 109881.

Liu, J., Bredie, W., Sherman, E., Harbertson, J., & Heymann, H. (2018). Comparison of Rapid Descriptive Sensory Methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. Food research international, 106, 892-900.

Liu, J., Wang, Y., Yang, P., Li, H., Mo, H., Chisoro, P., Han, D., & Zhang, C. (2025). Quality Decline of Prepared Dishes Stored at 4 °C: Microbial Regulation of Nitrite and Biogenic Amine Formation. Food Microbiology, 128, 104730.

Lyu, S., Chen, M., Wang, Y., Zhang, D., Zhao, S., Liu, J., Pan, F., & Zhang, T. (2023). Foaming Properties of Egg White Proteins Improved by Enzymatic Hydrolysis: The Changes in Structure and Physicochemical Properties. Food Hydrocolloids.

Maicas, S. (2020). The Role of Yeasts in Fermentation Processes. Microorganisms, 8(8), 1142. https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142
Man, C. (2008). Shelf-life of chilled foods. , 573-598.

Mandha, J., Shumoy, H., Devaere, J., Schouteten, J., Gellynck, X., De Winne, A., Matemu, A., & Raes, K. (2021). Effect of Lactic Acid Fermentation of Watermelon Juice on Its Sensory Acceptability and Volatile Compounds. Food Chemistry, 358, 129809.

Mao, Y., Yu, D., & Zhai, X. (2023). Intelligent Food Quality Monitoring System: Integration of Sensor Technology and AI. Trends in Food Science & Technology, 137, 318–328.

Maqsood, S., Benjakul, S., & Shahidi, F. (2014). Oxidation of Lipids in Seafood and Possible Strategies to Prevent It: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13(2), 1125–1140.

Marcet, I., Álvarez, C., Paredes, B., & Díaz, M. (2016). The Use of Sub-Critical Water Hydrolysis for The Recovery of Peptides and Free Amino Acids From Food Processing Wastes. Review of Sources and Main Parameters. Waste Management, 49, 364-371 .

Martínez, A., Navarro, F., & García, A. (2022). Shelf Life Prediction of Perishable Food Under Cold Chain Disruptions: A Logistic-Simulation Modeling Approach. Journal of Food Engineering, 314, 110770.

Martins, R., Lopes, V., Vicente, A., & Teixeira, J. (2008). Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. Food and Bioprocess Technology, 1, 207-222.

Miele, N., Volpe, S., Cavella, S., Masi, P., Di Monaco, R., & Torrieri, E. (2022). Implication of Different Sensory Methodologies and Failure Criteria on The Shelf-Life of a Pumpkin-Orange Cake. Food Packaging and Shelf Life.

Mizrahi, S. (2011). Accelerated Shelf Life Testing of Foods. Woodhead Publishing Limited, 482-506.

Modesti, M., Taglieri, I., Bianchi, A., Tonacci, A., Sansone, F., Bellincontro, A., Venturi, F., & Sanmartin, C. (2021). E-Nose and Olfactory Assessment: Teamwork or a Challenge to the Last Data? The Case of Virgin Olive Oil Stability and Shelf Life. Applied Sciences.

Mohammad, N. F., Shahrul, M. N., & Noranizan, M. A. (2021). A review on accelerated shelf life testing method in food industry. Food Research, 5(3), 16–24.

Morita, A. (1990). Fluctuation in rate coefficients, induced by dichotomous noise, and the rate of chemical reactions. Journal of Chemical Physics, 92, 2401-2406.

Muermans, M., Stekelenburg, F., Zwietering, M., & Veld, J. (1993). Modelling of the microbiological quality of meat. Food Control, 4, 216-221.

Munekata, P., Finardi, S., De Souza, C., Meinert, C., Pateiro, M., Hoffmann, T., Domínguez, R., Bertoli, S., Kumar, M., & Lorenzo, J. (2023). Applications of Electronic Nose, Electronic Eye and Electronic Tongue in Quality, Safety and Shelf Life of Meat and Meat Products: A Review. Sensors (Basel, Switzerland), 23.

Murata, M. (2020). Food Chemistry Study on Enzymatic Browning and the Maillard Reaction. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.

Nawarathne, S., Jayasena, D., Rathnayake, P., Senavirathna, M., Udayanga, D., & Heo, J. (2021). Effect of Incorporating Roasted Sesame (*Sesamum indicum*) Seeds on The Quality Parameters of Chicken Nuggets. Food and Life, (2):57-66.

Nawaz, A., Irshad, S., Khan, I., Khalifa, I., Walayat, N., Aadil, R., Kumar, M., Wang, M., Chen, F., Cheng, K., & Lorenzo, J. (2022). Protein oxidation in muscle-based products: Effects on physicochemical properties, quality concerns, and challenges to food industry.. Food research international, 157, 111322.

Neff, R., Spiker, M., Rice, C., Schklair, A., Greenberg, S., & Leib, E. (2019). Misunderstood food date labels and reported food discards: A survey of U.S. consumer attitudes and behaviors. Waste management, 86, 123-132.

Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S.-M., Cárdenas-Barrón, L., & Tiwari, S. (2021). Coordinating visit interval and safety stock decisions in a two-level supply chain with shelf-life considerations. Computers & Operations Research, 134, 105393.

Nicoli, M., & Calligaris, S. (2018). Secondary Shelf Life: an Underestimated Issue. Food Engineering Reviews, 10, 57-65.

Nicoli, M., Calligaris, S., & Manzocco, L. (2009). Shelf-Life Testing of Coffee and Related Products: Uncertainties, Pitfalls, and Perspectives. Food Engineering Reviews, 1, 159-168.

Nicoli, M.C. (Ed.). (2012). Shelf Life Assessment of Food (1st ed.). CRC Press.
Nicosia, C., Fava, P., Pulvirenti, A., Antonelli, A., & Licciardello, F. (2021). Domestic Use Simulation and Secondary Shelf Life Assessment of Industrial Pesto alla genovese. Foods, 10.

Nisa, A., Khan, F., Saeed, A., Sajjad, F., Masood, S., Ashraf, M., Rehman, H., Khan, T., & Kanwal, A. (2023). Controlling Enzymatic Browning in Apples: Inhibiting Polyphenol Oxidases Activity. Advances in Food Technology and Nutrition Sciences – Open Journal.

Nuraini, V., & Widanti, Y. (2020). Pendugaan Umur Simpan Makanan Tradisional Berbahan Dasar Beras dengan Metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Melalui Pendekatan Arrhenius dan Kadar Air Kritis. , 14, 189.

Obitovich, T., & Jamshidovna, Y. (2024). Evaluating The Shelf Life of Escin. European Journal of Higher Education and Academic Advancement.

Ovissipour, M., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. (2017). Kinetics of Protein Degradation and Physical Changes in Thermally Processed Atlantic Salmon (Salmo salar). Food and Bioprocess Technology, 10, 1865-1882.

Papuc, C., Goran, G., Predescu, C., & Nicorescu, V. (2017). Mechanisms of Oxidative Processes in Meat and Toxicity Induced by Postprandial Degradation Products: A Review. Comprehensive reviews in food science and food safety, 16 1, 96-123.

Paternina-Ortega, I., Castaño-Tostado, E., & Santana-Cibrian, M. (2023). A longitudinal data analysis approach for sensory shelf life estimation. Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications, 9, 287 - 301.

Patras, A., Brunton, N., Tiwari, B., & Butler, F. (2011). Stability and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Colour in Strawberry Jam during Storage. Food and Bioprocess Technology, 4, 1245-1252.

Pedro, A., & Ferreira, M. (2006). Multivariate accelerated shelf-life testing: a novel approach for determining the shelf-life of foods. Journal of Chemometrics, 20.

Peleg, M. (2019). Modeling Degradation Kinetics in Dry Foods Storage under Varying Temperature and Moisture Content—Theoretical Evaluation. Food Engineering Reviews, 11, 1-13.

Piochi, M., Cabrino, G., & Torri, L. (2021). Check-All-That-Apply (CATA) Test to Investigate the Consumers' Perception of Olive Oil Sensory Properties: Effect of Storage Time and Packaging Material. Foods, 10.

Pramono, Y., Mulyani, S., Abduh, S., Kamil, R., Legowo, A., Lestari, T., Astuti, A., Putri, D., Puspita, D., & Bramantyo, F. (2024). Shelf-Life Determination of "Hiwan Tahu" Using Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) with Arrhenius Model. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology.

Pranil, T., Moongngarm, A., & Loypimai, P. (2020). Influence of pH, temperature, and light on the stability of melatonin in aqueous solutions and fruit juices. Heliyon, 6.

Prescott, L.M., Harley, J.P., & Klein, D.A. (2005). Microbiology, 6th edition. New York: McGraw Higher Education.

Ragaert, P., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2007. "Role of Microbiological and Physiological Spoilage Mechanisms during Storage of Minimally Processed Vegetables." Postharvest Biology and Technology 44(3): 185–94.

Rebezov, M., Saeed, K., Khaliq, A., Rahman, S. J. U., Sameed, N., Semenova, A., Khayrullin, M., Dydykin, A., Abramov, Y., Thiruvengadam, M., Shariati, M. A., Bangar, S. P., & Lorenzo, J. M. (2022). Application of Electrolyzed Water in the Food Industry: A Review. Applied Sciences, 12(13), 6639.

Reis, J., Paula, A., Casarotti, S., & Penna, A., 2012. Lactic Acid Bacteria Antimicrobial Compounds: Characteristics and Applications. Food Engineering Reviews, 4, pp. 124-140.

Rivero-Pino, F., Leon, M. J., Maria, C., Linares, Montserrat-de la Paz, S. (2023). Antimicrobial plant-derived peptides obtained by enzymatic hydrolysis and fermentation as components to improve current food systems. Trends in Food Science & Technology, 135, 32-42.

Robertson, G. L. (2005). Food packaging: principles and practice. CRC Press.

Rocchetti, G., Galimberti, S., Callegari, M., & Lucini, L. (2023). Metabolomics and proteomics approaches provide a better understanding of non-enzymatic browning and pink discoloration in dairy products: A mini review. Food Bioscience.

Rohaya, S., Rahmat, F., & Sulaiman. (2024). Shelf-life prediction of chicken nuggets based on the thickness level composite plastic packaging using accelerated shelf-life testing (ASLT) method by the Arrhenius equation approach. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science.

Russell, A. (2003). Challenge testing: principles and practice.. International journal of cosmetic science, 25 3, 147-53.

Sadli, S., Erfiza, N., Anam, A., & , M. (2022). Shelf life prediction of straw mushrooms (Volvariella volvacea) based food enhancer using accelerated shelf life testing method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 951.

Saini, Reena V., Vaid, P., Saini, N. K., Siwal, S. S., Gupta, V. K., Thakur, V. K., & Saini, A. K. (2021). Recent Advancements in the Technologies Detecting Food Spoiling Agents. Journal of Functional Biomaterials, 12(4), 67.

Salem, Y., Mousa, M., & Ibrahim, M. (2024). Effect of Different Heat Treatments on E.Coli O157:H7 In Some Chicken Meat Products. Alexandria Journal of Veterinary Sciences, 80(1), 1-8.

Samotyja, U. (2022). Consumer Understanding of the 'Best Before' and 'Use by' Dates. Scientific Journal of Gdynia Maritime University.

Samotyja, U., & Sielicka-Różyńska, M. (2020). How date type, freshness labelling and food category influence consumer rejection. International Journal of Consumer Studies.

Schudel, S., Shoji, K., Shrivastava, C., Onwude, D. I., & Defraeye, T. (2023). Solution roadmap to reduce food loss along your postharvest supply chain from farm to retail. Food Packaging and Shelf Life, 35, 101017.

Sharma, S., & Kanwar, S. S. (2014). Organic Solvent Tolerant Lipases and Applications. The Scientific World Journal, 2014, 1–15.

Shetty, N., Scholar, P., Munishamanna, K., Krishi, G., Kendra, V., Kumar, L., & Suvarna, V. (2022). Development of fermented beverages from banana pseudo stem core juice enriched with honey and whey and their shelf-life assessment.

Shimaoka, N., Okamoto, S., Akiyama, Y., & Yamada, Y. (2022). Linking Temporal Dominance of Sensations for Primary-Sensory and Multi-Sensory Attributes Using Canonical Correlation Analysis. Foods, 11.

Simons, C. (2024). The Role of pH in Food Processing. Diakses pada 4 September 2025, dari https://foodsciencetoolbox.com/the-role-of-ph-in-food-processing/

Singh, B., Suri, K., Shevkani, K., Kaur, A., Kaur, A., & Singh, N. (2018). Enzymatic Browning of Fruit and Vegetables: A Review. , 63-78.

Singh, S., & Gaur, S. (2023). Development of rapid and non-destructive electric nose (E-nose) system for shelf life evaluation of different edible seeds.. Food chemistry, 426, 136562.

Singh, T., & Cadwallader, K. (2002). The shelf life of foods: An overview. 836, 2-21.

Sinigaglia, A. (2010). Food Shelf Life and Safety: Challenge Tests, Prediction and Mathematical Tools.

Sionek, B., Szydłowska, A., Küçükg¨oz, K., & Koło ˙ zyn-Krajewska, D. (2023). Traditional and New Microorganisms in Lactic Acid Fermentation of Food. Fermentation, 9(12), 1019.

Šístková, I., & Čížková, H. (2024). Methods for Determining and Predicting Shelf Life of Food Products. Chemické listy.

Snyder, A., Martin, N., & Wiedmann, M. (2024). Microbial food spoilage: impact, causative agents and control strategies.. Nature reviews. Microbiology.

Soceanu, A., Matei, N., Dobrinas, S., & Popescu, V. (2020). Degradation Kinetic Modelling of Ascorbic Acid from Orange Juice. Proceedings.

Šopík, T., Lazárková, Z., Salek, R., Talár, J., Purevdorj, K., Buňková, L., Foltin, P., Jančová, P., Novotný, M., Gál, R., & Buňka, F. (2022). Changes in the Quality Attributes of Selected Long-Life Food at Four Different Temperatures over Prolonged Storage. Foods, 11.

Stefanovich, A., & Karel, M. (1982). Kinetics of Beta-Carotene Degradation at Temperatures Typical of Air Drying of Foods. Journal of Food Processing and Preservation, 6, 227-242.

Sterniša, M., Cargo, M., & Smole-Možina, S. (2019). Spoilage bacteria pseudomonas - production of hydrolytic enzymes and ability to grow at 5°C. Acta Periodica Technologica.

Sunarya, Y. (2002). Kimia Dasar 2 - Berdasarkan prinsip-prinsip kimia terkini. Bandung: Alkemi Grafisindo Press.

Sutrisno, A., & Cahyadi, W. (2021). Determination of Galendo's Shelf Life on Various of Storage Temperatures by Arrhenius Method. International Journal of Science and Society.

Symmank, C. (2018). Extrinsic and intrinsic food product attributes in consumer and sensory research: literature review and quantification of the findings. Management Review Quarterly, 69, 39-74.

Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. , 4, 104-115.

Taormina, P. (2021). Purposes and Principles of Shelf Life Determination. 1-26.
Tarlak, F. (2023). The Use of Predictive Microbiology for the Prediction of the Shelf Life of Food Products. Foods, 12.

Thoriq, A., Khoiris, D., Ciptaningtyas, D., & Pratopo, L. (2025). Estimating the Shelf Life of Instant Tempe in Various Packaging and Storage Temperature using the Arrhenius Model. Jurnal Keteknikan Pertanian.

Tiani, R., & Rongy, L. (2019). Complex dynamics of interacting fronts in a simple A+B→C reaction-diffusion system. Physical review. E, 100 3-1, 030201.

Torres-Sánchez, R., Martínez-Zafra, M., Castillejo, N., Guillamón-Frutos, A., & Artés–Hernández, F. (2020). Real-Time Monitoring System for Shelf Life Estimation of Fruit and Vegetables. Sensors (Basel, Switzerland), 20.

Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannoglou, M., Gogou, E., Katsaros, G., & Taoukis, P. (2017). Shelf-life prediction models for ready-to-eat fresh cut salads: Testing in real cold chain. International journal of food microbiology, 240, 131-140 .

UK Health Security Agency. (2024). Guidelines for assessing the microbiological safety of ready-to-eat foods placed on the market.

Upadhyay, S. (2006). Chemical Kinetics and Reaction Dynamics.

Veld, J. (1996). Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview. International Journal of Food Microbiology, 33, 1-18.

Villanueva, N., & Trindade, M. (2010). Estimating Sensory Shelf Life of Chocolate and Carrot Cupcakes Using Acceptance Test. Journal of Sensory Studies, 25, 260-279.

Villota, R., & Hawkes, J. (2019). Reaction Kinetics in Food Systems. Handbook of Food Engineering.

Wang, S., Wang, M., Wang, Y., Wu, Z., Yang, J., Li, H., Li, H., & Yu, J. (2022). Control of the Maillard reaction and secondary shelf-life prediction of infant formula during domestic use. Journal of food science.

Xia, L., Qian, M., Cheng, F., Wang, Y., Han, J., Xu, Y., Zhang, K., Tian, J., & Jin, Y. (2023). The effect of lactic acid bacteria on lipid metabolism and flavor of fermented sausages. Food Bioscience.

Yaşar, D., Kose, Y., & Kose, S. (2021). Kinetic modeling of macroelement concentration of Malatya cheese produced by traditional method. Journal of Food Processing and Preservation.

Zakariás, F., Hidas, K., Kovács, Z., Bázár, G., Taczman-Brückner, A., Dalmadi, I., & Kiskó, G. (2024). Shelf Life and Organoleptic Attributes of Multifruit Smoothies Treated by Combined Mild Preservation Technologies. Applied Sciences.

Zhang et al. (2020). Lipid oxidation in cheese: Mechanisms and control strategies. Trends in Food Science & Technology, 98, 48–56.

Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. Lwt - Food Science and Technology, 138, 110610.

Zhou, L., Tang, X., & Yang, Y. (2019). Effects of oxygen and light on the oxidative stability of edible oils: A critical review. Food Chemistry, 278, 1–7.

Zielińska, D., Bilska, B., Marciniak-Łukasiak, K., Łepecka, A., Trząskowska, M., Neffe-Skocińska, K., Tomaszewska, M., Szydłowska, A., & Kołożyn-Krajewska, D. (2020). Consumer Understanding of the Date of Minimum Durability of Food in Association with Quality Evaluation of Food Products After Expiration. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17.

Ziyaina, M., Xu, Y., & Pan, Z. (2020). Rapid detection technologies for shelf life determination of food products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(13), 2212–2228.

Jangan pernah berhenti belajar, karena ilmu pengetahuan terus tumbuh dan berkembang seiring waktu. Membaca berbagai referensi adalah salah satu langkah sederhana namun bermakna untuk memperluas wawasan dan memperdalam pemahaman. Setiap sumber informasi membawa perspektif unik yang saling melengkapi, membentuk gambaran yang lebih utuh dan tajam terhadap suatu topik.

Semakin banyak referensi yang kita telaah, semakin terbuka pikiran kita terhadap kemungkinan-kemungkinan baru dan pendekatan yang lebih bijak. Karena pada akhirnya, belajar adalah perjalanan yang tidak pernah selesai—dan membaca adalah jembatan yang akan terus menghubungkan kita dengan dunia pengetahuan yang tak terbatas.

Profil Penulis

Nurul Asiah, ST, MT adalah dosen tetap di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Bakrie. Ia menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister di bidang Teknik Kimia dari Universitas Diponegoro, dengan fokus penelitian pada Teknologi Proses Pengolahan Pangan. Salah satu bidang kepakarannya adalah pengujian masa simpan produk pangan.

Komitmennya dalam menyebarluaskan pengetahuan kepada masyarakat diwujudkan melalui penulisan buku Panduan Praktis Pendugaan Masa Simpan Produk Pangan, serta keterlibatannya sebagai tim pakar dalam penyusunan Pedoman Penetapan Masa Simpan untuk Pangan Olahan yang Diproduksi oleh Usaha Mikro dan Usaha Kecil (UMK). Ia percaya bahwa literasi masa simpan pangan yang baik adalah kunci untuk menekan volum timbulan *food waste* di Indonesia. Semangatnya mengedukasi publik mencerminkan dedikasinya dalam menjembatani ilmu pengetahuan dan kebutuhan nyata masyarakat, terutama dalam membangun sistem pangan yang lebih berkelanjutan.

E-mail : nurul.asiah@bakrie.ac.id

Dr. Rizki Maryam Astuti, S.Si., M.Si. memulai karirnya menjadi dosen tetap di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Bakrie pada tahun 2012. Memperoleh gelar Sarjana di bidang kimia dari Universitas Pendidikan Indonesia, kemudian, melanjutkan S2 dan S3 di bilang Ilmu Pangan Institut Pertanian Bogor.

Saat ini, ia mendedikasikan keilmuannya dengan mengajar mata kuliah kimia fisik organik, kimia pangan, analisis pangan, dan teknologi flavor. Dengan latarbelakang keilmuannya ini, mendorongnya untuk ikut aktif dalam menulis buku Panduan Praktis Pendugaan Masa Simpan Produk Pangan sebagai wujud upaya untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Topik penelitian yang saat ini sedang ditekuni adalah alergen pangan dan pangan fungsional, dan telah berhasil mempublikasikan hasil penelitian baik di jurnal nasional maupun internasional. Untuk mendalami keilmuannya di bidang kimia pangan, beberapa pelatihan pernah diikuti, di antaranya adalah Sakura Exchange Program in Science di Tohoku University Jepang (2016), IUNS Workshop on Capacity and Leadership Development in Nutritional Sciences, National Institute of Health and Nutrition (NIHN) Tokyo Jepang (2017), dan short course di bidang Biology Molecular di Tohoku University Jepang selama 2 bulan (2018). Untuk menjalin jejaring dengan sesama peneliti, saat ini aktif sebagai anggota Indonesian Association of Food Technologists and Sustainable Agriculture, Food & Energy (SAFE) Network, dan Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI).

E-mail : rizki.astuti@bakrie.ac.id

Widia Susilawati merupakan Alumni Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Bakrie, angkatan 2021. Selama menempuh pendidikan, ia aktif mengikuti berbagai perlombaan, dan berhasil meraih medali emas dalam *World Youth Invention and Innovation Award 2024* serta *International Innovation Competition 2024*, berkat karyanya yang mengusung konsep *zero waste* dan pemanfaatan bahan pangan lokal.

Pada tahun yang sama, ia juga terpilih sebagai penerima pendanaan dalam Program Kreativitas Mahasiswa (PKM). Penelitian tugas akhirnya mengangkat topik pendugaan masa simpan pangan, yang selaras dengan isi dan tujuan penulisan buku ini. Melalui tulisannya, ia berharap ilmu yang ia pelajari dapat bermanfaat lebih luas dan mendorong praktik pangan yang lebih bertanggung jawab.

E-mail: widia.susilawati12@gmail.com

Alifia Marsya Khairina S.T.P merupakan lulusan Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Bakrie, angkatan 2020. Pada tahun 2022, ia berkesempatan mengikuti program *Student Exchange* di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia. Selama program tersebut, ia aktif terlibat dalam kegiatan tahunan kampus bertajuk *SULAM* yang mengangkat tema *Everlast Green*, salah satunya berupa kegiatan pemanfaatan *food waste* untuk dijadikan kompos.

Selain itu ia turut serta dalam mengikuti lomba dan berhasil meraih medali emas dalam *World Economics Challenge Competition 2024* yang mengangkat tentang pemanfaatan umbi. Setelah menyelesaikan studinya, ia diberi kesempatan menjadi asisten riset dalam pengujian masa simpan berbagai produk pangan. Pengalaman tersebut sejalan dengan topik yang dibahas dalam buku ini, yakni pengujian masa simpan pangan. Melalui keterlibatannya, ia berharap dapat membagikan wawasan dan praktik yang relevan kepada pembaca, serta memperkuat kesadaran akan pentingnya pengujian masa simpan dalam menjaga mutu dan keamanan pangan.

E-mail: alifiamk24@gmail.com

Informasi masa simpan merupakan elemen krusial dalam produksi dan pengembangan produk pangan dalam kemasan, karena berkaitan langsung dengan jaminan *food safety* dan *food quality* yang menjadi hak konsumen. Buku ini disusun sebagai panduan praktis sekaligus ilmiah bagi peneliti, staf *Research and Development* (R&D), serta pelaku industri pangan, baik skala kecil, menengah, maupun besar untuk memahami konsep dasar masa simpan dan mampu melakukan pengujian masa simpan secara mandiri. Dalam buku ini, pembaca akan menemukan teori-teori penting mengenai mekanisme kerusakan pangan serta pendekatan yang digunakan dalam pendugaan masa simpan, seperti perubahan mutu fisik, kimia, dan sensori. Buku ini juga dilengkapi langkah-langkah praktis dalam perencanaan dan pelaksanaan uji masa simpan, sehingga dapat menjadi referensi aplikatif dalam menjamin mutu dan keamanan pangan sepanjang masa simpannya.

Bpress
Penerbitan Universitas Bakrie

Komplek Rasuna Epicentrum
Jl. HR. Rasuna Said, Setiabudi,
Kuningan Jakarta 12920

ISBN 978-602-7989-80-1 (PDF)
9 786027 989801