

PROSES TERMAL

Sesungguhnya proses termal yang paling sederhana telah diterapkan sejak jaman purbakala, yaitu pada saat api mulai digunakan orang untuk membakar hasil buruan mereka. Tanpa dapat dijelaskan secara ilmiah pada saat itu, hewan yang telah dibakar menjadi lebih mudah dikunyah dan lebih lezat dimakan. Dengan bantuan panas dari api ini pula daging yang telah terbakar menjadi awet dan dapat disimpan untuk beberapa saat.

Ilmu Proses Termal

Sejarah aplikasi proses termal untuk pengawetan pangan sesungguhnya baru dimulai pada saat Nicholas Appert dari Perancis memasukkan bahan pangan ke dalam botol gelas, kemudian menutup dan memanaskannya di dalam air mendidih. Ternyata bahan pangan yang diperlakukan seperti ini tidak busuk, dan Appert kemudian mengumumkan penemuannya ini pada tahun 1810. Meskipun dia percaya bahwa kombinasi panas dengan pembuangan udara telah mencegah bahan pangan menjadi rusak, Appert tetap tidak dapat menjelaskan mengapa metodenya ini berhasil. Baru 50 tahun kemudian, Louis Pasteur menunjukkan bahwa mikroba tertentu bertanggung jawab terhadap proses fermentasi dan kebusukan. Dengan penemuan Pasteur ini kemudian keberhasilan metode Appert dapat dijelaskan.

Di saat awal komersialisasi metode Appert dalam bentuk proses pengalengan pangan, masih banyak terjadi masalah kebusukan kaleng yang tidak dapat dipecahkan. Barangkali penemuan yang dianggap sangat berharga untuk memecahkan masalah ini adalah hasil riset yang dilakukan di Massachusetts Institute of Technology tahun 1895 yang menyimpulkan bahwa *ketidackukupan panas untuk memusnahkan mikroba* adalah penyebabnya. Kecukupan panas selanjutnya diartikan sebagai kombinasi penggunaan suhu (T) dan waktu (t) yang sesuai untuk memusnahkan mikroba.

Kecukupan panas dapat diperoleh dengan memberikan perlakuan panas pada suhu yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat, atau sebaliknya. Sejak saat itu dan selanjutnya percobaan dan perhitungan kecukupan panas dijadikan dasar dalam penetapan proses pengalengan pangan (*scheduled process*).

Menghambat Pertumbuhan atau Memusnahkan Mikroba?

Dua cara umum untuk berperang melawan mikroba penyebab kebusukan atau mikroba patogen penyebab penyakit karena makanan (*foodborne diseases*) adalah (1) menghambat atau mencegah pertumbuhannya, dan (2) memusnahkannya. Menghambat atau mencegah pertumbuhan mikroba dapat dilakukan dengan membuat suasana lingkungan sedemikian rupa sehingga mikroba dalam keadaan terganggu dan stres serta tidak mampu untuk memperbanyak dirinya. Cara-cara konvensional seperti pendinginan atau pembekuan, penurunan aktivitas air (a_w) melalui pengeringan atau penggaraman, pengasaman, dan penggunaan bahan pengawet sampai saat ini masih merupakan cara-cara penting yang terus dipraktekkan. Meskipun demikian, cara-cara yang lebih maju sudah diperkenalkan seperti penggunaan CO₂ dalam kemasan dengan atmosfer termodifikasi (*carbon dioxide-enriched modified atmosphere packaging*), penambahan produk-produk kultur mikroba seperti asam organik dan bakteriosin, dan *hurdle technology* yaitu penggunaan kombinasi cara yang memberikan derajat pengawetan yang dibutuhkan tanpa menggunakan satu cara yang ekstrim (Leistner, 1995). Karena cara-cara pengawetan ini sifatnya menghambat, maka terjadinya perubahan terhadap lingkungan yang sudah diatur ini memungkinkan mikroba yang tahan terhadap stres menjadi aktif kembali.

Berbeda dengan cara penghambatan yang telah disebutkan di atas, cara pemusnahan mikroba merupakan cara lainnya yang dapat dilakukan, seperti proses termal, irradiasi, tekanan hidrostatik tinggi (Knorr, 1995), listrik bertegangan tinggi (Sitzmann, 1995), dan kombinasi ultrasonik, panas, dan tekanan (Sala *et al.*, 1995). Dari berbagai cara pemusnahan mikroba ini, proses termal masih tetap

merupakan cara yang paling umum digunakan. Karena sifatnya memusnahkan mikroba, maka dengan menggunakan proses ini ada jaminan bahwa mikroba yang telah mati tidak akan pernah aktif kembali. Walaupun ada mikroba yang ditemukan pada produk pangan yang diproses dengan cara ini, maka kemungkinan besar hal ini terjadi karena rekontaminasi.

Bagaimana Kematian Mikroba Terjadi?

Banyak informasi yang menjelaskan pengaruh fisiologik dari energi panas terhadap mikroba, akan tetapi penyebab utama kematian sel mikroba karena proses termal belum jelas benar. Meskipun demikian, diperkirakan bahwa panas pada suhu tinggi yang diberikan kepada sel mikroba tidak mempengaruhi satu target spesifik saja, oleh karena energi panas di dalam sel merupakan satu bagian integral dari keseluruhan sistem yang kompleks. Energi ini tidak hanya akan mempengaruhi sel secara utuh tetapi juga akan mempengaruhi setiap bagian di dalam sel termasuk struktur molekul dan reaksi yang berlangsung di dalam sel. Sel ternyata mengandung beberapa target bagi aksi panas yang diberikan kepadanya. Dengan demikian, ketahanan panas mikroba sangat ditentukan oleh kestabilan intrinsik dari makromolekul yang terdapat di dalamnya seperti RNA, ribosoma, asam nukleat, enzim, protein, dan membran.

Coote *et al.* (1991) melaporkan bahwa kerusakan sel mikroba karena panas berkaitan dengan terjadinya perubahan-perubahan pada RNA. Dapat dimengerti bahwa RNA ribosomal (rRNA) dalam sel mikroba menjamin konfirmasi struktur sekunder dan tersier yang spesifik dari protein ribosoma, sehingga dapat berfungsi dalam biosintesis protein. Dengan demikian perubahan pada RNA dapat menyebabkan kerusakan pada sel mikroba. Temuan sebelumnya menunjukkan bahwa pemanasan menyebabkan rusaknya membran sel sehingga kandungan Mg^{++} dalam sel turun drastis dan mengakibatkan ribosoma menjadi tidak stabil (Hurst, 1984).

Ketahanan Panas Spora

Salah satu adaptasi mikroba yang paling sukses untuk bertahan terhadap panas adalah dengan mengubah bentuknya menjadi spora yang tahan panas. Mikroba pembentuk spora yang paling penting adalah dari genera *Bacillus* dan *Clostridium*, dan yang dapat menyebabkan keracunan adalah *B. cereus*, *C. botulinum* dan *C. perfringens*. Berbeda dengan sel vegetatif, spora mempunyai protoplas dan membran sel yang diselimuti oleh korteks yang terutama terdiri dari peptidoglikan. Diperkirakan bahwa ketahanan panas spora dipengaruhi oleh suhu pertumbuhan optimalnya, kandungan air dari protoplas, kandungan mineral total dan mineral spesifik, suhu sporulasi, dan ukuran korteks (Gerhardt dan Marquis, 1989). Korteks dianggap mempunyai peranan nyata untuk bertahan terhadap kerusakan karena panas. Korteks mempertahankan keadaan dehidrasi osmotik yang terjadi selama sporulasi (Marquis *et al.*, 1983). Sebelumnya dipercayai bahwa DPA (*dipicolinic acid*) berperan dalam memberikan ketahanan panas pada spora (El-bisi dan Ordal, 1956). Meskipun demikian, dari beberapa kenyataan yang dikumpulkan menunjukkan bahwa ketahanan panas spora tidak tergantung pada DPA (Gerhardt dan Marquis, 1989).

Karakteristik ketahanan panas spora yang relatif tinggi menjadi masalah dalam pengolahan pangan karena spora yang bertahan terhadap perlakuan pengolahan pada suatu saat akan kembali aktif dan memperbanyak dirinya. Oleh karena itu, karakteristik spora ini selalu menjadi bahan pertimbangan utama dalam merancang suatu proses termal, terutama untuk bahan pangan berasam rendah (pH > 4.5).

Mikroba Termofilik

Dalam penerapan proses termal perlu diperhatikan kemungkinan adanya mikroba yang relatif tahan panas. Pada umumnya ketahanan panas mikroba berhubungan dengan suhu optimum

/ pertumbuhannya, dan mikroba yang paling tahan panas adalah mikroba yang tergolong termofil. Mikroba termofilik pada umumnya mempunyai suhu minimum pertumbuhan 45°C, suhu optimum 50-60°C, dan suhu maksimum 70°C atau lebih. Ciri mikroba dari kelompok ini adalah germinasi spora dan pertumbuhan selnya yang terjadi dengan cepat, dan beberapa mempunyai waktu generasi (waktu membelah) sangat cepat yaitu setiap 10 menit pada suhu optimum (Jay, 1992). Oleh karena itu, proses termal yang tidak cukup pada makanan yang kemudian diikuti dengan penyimpanan pada suhu hangat (50-60°C) dapat mengakibatkan bakteri yang tahan ini mencapai jumlah yang tinggi di dalam makanan. Contoh bakteri dalam kelompok ini adalah *Clostridium thermosaccharolyticum*, *Bacillus stearothermophilus* dan *Desulfotomaculum nigrificans* (Adams dan Moss, 1995). Beruntung bahwa ketiga bakteri termofil ini bukan merupakan bakteri patogen, tetapi sering menyebabkan kerusakan pada makanan kaleng berasam rendah.

Ketahanan panas mikroba termofilik diduga disebabkan oleh adanya enzim dan ribosoma yang tahan panas, serta adanya ion Mg^{++} yang merupakan kation divalen yang memperkuat integritas membran protoplas. Kandungan asam amino hidrofobik yang lebih tinggi pada enzim mikroba termofilik dibandingkan dengan mikroba mesofilik mengakibatkan ketahanan panas enzim yang lebih tinggi. Komposisi basa pada rRNA mikroba mempengaruhi stabilitasnya terhadap panas, dan rRNA dengan kandungan G-C (guanin-citosin) lebih tinggi pada mikroba termofilik menyebabkan ketahanan panas yang lebih tinggi karena kandungan ikatan hidrogen yang lebih banyak (Jay, 1992).

Penggunaan Proses Termal Dalam Pengolahan Pangan

/ Secara umum proses termal dapat diartikan sebagai suatu proses yang mendayagunakan energi panas untuk menghasilkan perubahan pada suatu bahan. Bahan pangan menerima proses termal untuk berbagai tujuan, yaitu meningkatkan daya cerna, memperbaiki

flavor, memusnahkan mikroba pembusuk dan patogen, atau menginaktifkan enzim (Tabel 1).

Tabel 1. Aplikasi proses termal pada bahan pangan*

Proses termal	Suhu (°C)	Tujuan
Pemasakan Pemanggangan Perebusan Penggorengan Pembakaran	≤ 100	Meningkatkan daya cerna, misalnya: - Gelatinisasi pati - Pemecahan kolagen (pada daging) Memperbaiki flavor Memusnahkan mikroba patogen
<i>Blanching</i>	< 100	Mengeluarkan oksigen dari tenunan Menginaktifkan enzim
Pengeringan/pemekatan	< 100	Mengeluarkan air untuk mempertahankan mutu
Pasteurisasi	60-80	Memusnahkan mikroba patogen dan pembusuk
Sterilisasi	> 100	Memusnahkan mikroba untuk memperoleh steril komersial

* Adams dan Moss, 1995

Pada proses pasteurisasi, pemusnahan mikroba patogen sifatnya kritis, oleh karena itu perlakuan proses termal harus diberikan dengan benar, misalnya pasteurisasi susu dilakukan pada suhu 63°C selama 30 menit atau 72°C selama 15 detik (HTST = *high temperature short time*). Proses termal ini ekivalen dengan

pemanasan pada suhu 89°C selama 1 detik, 90°C selama 0,5 detik, dan 94°C selama 0,1 detik. Kombinasi perlakuan suhu dan waktu ini sudah cukup untuk memusnahkan bakteri patogen tidak ber-spora yang paling tahan panas, yaitu *Mycobacterium tuberculosis* dan *Coxiella burnetti*, serta semua khamir, kapang, bakteri gram-negatif dan beberapa bakteri gram-positif. Karena pasteurisasi hanya ditujukan untuk memusnahkan mikroba patogen atau pembusuk, maka produk pangan yang sudah dipasteurisasi umumnya masih mengandung mikroba lainnya seperti bakteri tidak berspora dari genera *Streptococcus* dan *Lactobacillus*. Oleh karena masih mengandung mikroba ini, maka produk pangan yang sudah dipasteurisasi harus disimpan pada suhu rendah.

Sterilisasi komersial menjadi sangat penting artinya dalam pengolahan pangan berasam rendah karena *Clostridium botulinum* pembentuk toksin yang tahan panas dapat tumbuh dan menghasilkan toksin jika proses termal yang diberikan tidak cukup. Di bawah peraturan Food & Drug Administration (USA) yaitu menurut 21 CFR Part 113 disebutkan bahwa makanan kaleng yang mempunyai aktivitas air (a_w) lebih tinggi dari 0,85 dan pH lebih tinggi dari 4,6 dikategorikan sebagai makanan berasam rendah dan proses termal minimum harus dilaporkan oleh setiap produsen kepada yang berwenang. Karena alasan keamanan, pada umumnya pH > 4,5 digunakan sebagai batas golongan makanan berasam rendah.

Oleh karena risikonya yang sangat tinggi terhadap keamanan pangan, maka proses termal yang diberikan pada bahan pangan berasam rendah ini harus diperhitungkan secara hati-hati dan teliti sehingga cukup untuk memusnahkan spora bakteri patogen, khususnya spora *C. botulinum*. Untuk menjamin bahwa semua spora *C. botulinum* telah musnah, maka sebagai persyaratan, proses termal yang diberikan harus cukup untuk menurunkan 12 siklus log dari jumlah awal bakteri (*12D concept*). Proses termal yang demikian itu setara dengan pemanasan paling sedikit pada suhu 121,1°C selama 3 menit.

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PROSES TERMAL

Proses termal dapat dilakukan secara konvensional dengan menggunakan panas api yang berasal dari berbagai sumber bahan bakar. Selain itu proses termal juga dapat dilakukan dengan menggunakan pemanas listrik atau pemanas uap. Pemanasan dengan uap barangkali merupakan jenis pemanasan konvensional yang paling banyak mengalami modifikasi dan perkembangan untuk memperoleh kecukupan panas yang memadai. Dapat dimengerti karena uap bertekanan yang pada umumnya dihasilkan dalam retort dibutuhkan untuk meningkatkan suhu lebih dari 100°C pada proses sterilisasi makanan berasam rendah. Retort yang dibuat pertama kali oleh A.K. Shriver pada tahun 1874 misalnya adalah jenis pemanas uap bertekanan yang banyak mengalami perkembangan. Pada tahun 1899, retort yang dilengkapi dengan penanganan wadah secara kontinyu dipatenkan. Sekarang, beragam jenis retort dengan berbagai karakteristiknya yang spesifik sudah digunakan secara luas, misalnya retort vertikal dan horizontal diam (*vertical and horizontal still retorts*), retort berputar (*agitating retorts*), retort berputar kontinyu (*continuous rotary retorts*), retort bertekanan lebih (*overpressure retorts*), retort hidrostatik (*hydrostatic retorts*), dan sebagainya. Pada dasarnya perkembangan teknologi yang dilakukan pada retort bertujuan untuk memperbaiki keseragaman distribusi suhu dalam retort, disamping meningkatkan otomatisasi dan pengendalian prosesnya.

Salah satu hal yang dianggap sangat penting dalam penggunaan retort untuk sterilisasi makanan berasam rendah adalah jaminan untuk memberikan suhu proses yang seragam di seluruh bagian wadah yang dipanaskan. Pada awal tahun 1940-an di USA telah terjadi beberapa kasus keracunan makanan kaleng karena proses termal yang tidak cukup, meskipun data yang tercatat menunjukkan bahwa seluruh proses yang disarankan sudah dikerjakan. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa ternyata telah terjadi

pembentukan zona-zona suhu rendah atau *kantong-kantong udara* di antara kaleng-kaleng selama proses yang menyebabkan distribusi suhu tidak merata dan proses termal menjadi tidak memadai. Masalah ini kemudian dapat diatasi dengan melakukan *venting*, yaitu cara untuk mengeluarkan udara dari dalam retort dengan membuka katup-katup uap pada retort selama *come up time* dan membuka *bleeders* selama proses termal berlangsung (Kimball dan Heyliger, 1990). Oleh karena prosedur operasi retort seperti *venting*, pembukaan *bleeders*, pengukuran suhu dan waktu proses, serta pendinginan sangat menentukan kecukupan proses termal yang diberikan, maka setiap industri pengalengan pangan seharusnya mempunyai SOP (*standard operating procedure*) bagi pengoperasian retortnya yang dilakukan oleh seorang operator yang kompeten (Fardiaz, 1994; 1996). Adanya SOP dan operator yang kompeten seharusnya dapat menjamin keamanan produk pangan yang dihasilkan.

Selain terjadi perkembangan teknologi dalam disain retort, perkembangan proses termal juga berlangsung pada sistem sterilisasinya, seperti berkembangnya proses dan pengemasan aseptik (*aseptic processing and packaging*) untuk produk-produk pangan cair, serta perkembangan peralatan pemanas, misalnya pemanas gelombang mikro (*microwave heating*) dan pemanas ohmik (*ohmic heating*).

Proses dan Pengemasan Aseptik

Karena banyak kelebihan dan kemudahannya, proses dan pengemasan aseptik telah menjadi *success story* dalam teknologi pangan. Dengan proses termal ini dimungkinkan produk yang telah disterilisasi dimasukkan ke dalam kemasan steril dan ditutup secara hermetik di bawah kondisi aseptik (Gavin dan Weddig, 1995). Pengemasan aseptik memberikan beberapa kelebihan antara lain produk dapat dikemas dalam karton fleksibel dan proses termal dapat dilakukan pada suhu tinggi dalam waktu singkat, misalnya pada suhu 140°C selama beberapa detik (*UHT*). Dengan proses

UHT (*ultra high temperature*) mutu sensori dan gizi produk dapat dipertahankan seoptimal mungkin.

Pemanasan Gelombang Mikro

Penggunaan gelombang mikro (*microwave*) untuk tujuan pemasakan memperoleh sukses besar setelah *microwave oven* menjadi trendi dan menjadi salah satu idaman ibu-ibu rumah tangga untuk memilikinya di dapur. Meskipun masih dijumpai masalah seperti pemasakan yang tidak merata, kurangnya reaksi pencoklatan pada produk bekeri dan kurangnya tekstur krispi pada produk snak, oven ini tetap diminati sebagai alat untuk memanaskan kembali (*reheating*) makanan yang sudah dingin.

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi berkisar di antara gelombang radio dan gelombang infra merah. Frekuensi khusus yang diijinkan untuk digunakan dalam bahan pangan adalah 915 MHz di USA, 896 MHz di UK, dan 2450 MHz di seluruh dunia (Mullin, 1995). Gelombang mikro dihasilkan oleh sebuah *magnetron* yang memancarkan energi radiasi berfrekuensi tinggi dengan pusat-pusat muatan positif dan negatif yang berubah arahnya bermilyar-milyar kali per detik. Gelombang ini masuk ke dalam bahan pangan dan energi yang dibawanya diubah menjadi panas terutama karena mekanisme orientasi polar dan ionik. Air adalah molekul polar yang paling umum di dalam bahan pangan yang terdapat dalam orientasi acak. Jika medan listrik diberikan, maka molekul-molekul polar ini berupaya untuk searah dengan medan listrik. Dan jika medan listrik dibolak-balik sangat cepat, berjuta-juta kali per detik seperti pada frekuensi gelombang mikro 2450 MHz, maka energi kinetik akan dihasilkan sebagai panas ketika molekul-molekul polar berupaya untuk mengikuti medan listrik ini. Panas inilah yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai tujuan proses termal. Tabel 2 di bawah menunjukkan beberapa aplikasi proses termal dengan menggunakan pemanasan gelombang mikro.

Tabel 2. Aplikasi pengolahan pangan dengan gelombang mikro*

Aplikasi	Frekuensi (MHz)	Tenaga (kW)	Produk pangan
<i>Tempering</i> Batch Kontinyu	915	30 - 70	Daging sapi, ikan, dan unggas
Pengeringan Vakum Beku	915 atau 2450	30 - 50	Pasta, bawang, snak, sari buah
Pemanasan awal	915	50 - 240	Daging sapi, babi, unggas, sosis, sardin
Pasteurisasi/ Sterilisasi	2450	10 - 30	Pasta segar, menu lengkap, produk pangan dalam kantong, produk pangan semi padat, susu, roti
Pemanggang	915	2 - 10	Roti, <i>proofing</i> donat

* Decareau, 1985; IFT, 1989

Pemanasan Ohmik

Pemanasan ohmik (I^2R) terjadi jika arus listrik I dialirkan melalui bahan pangan yang tahanannya R , menghasilkan energi yang menyebabkan suhu naik seperti halnya panas yang timbul pada setrika listrik. Konsep pemanasan ohmik pada bahan pangan sesungguhnya bukan hal yang baru, karena di awal abad ke 20 pasteurisasi susu dapat dilakukan dengan melewati susu di antara dua pelat yang diberi tegangan listrik berbeda. Meskipun proses termal ini sempat diaplikasikan secara komersial, teknologi

ini terus menghilang terutama karena tidak adanya bahan elektroda *inert* yang sesuai dan tersedia, serta tidak adanya pengendalian proses yang memadai (Sasthy dan Palaniappan, 1992).

Dalam limabelas tahun terakhir ini, pemanasan ohmik dengan bahan dan disain yang lebih baru dan lebih baik terus dikembangkan. Sekarang cara pemanasan ini telah diaplikasikan di berbagai institusi pelayanan makanan di USA serta digunakan untuk kebutuhan tentara dan perjalanan pesawat berawak ke ruang angkasa.

Pada awalnya pengaruh mematikan dari pemanasan ohmik terhadap mikroba dikaitkan dengan tenaga listrik yang diberikan. Ternyata pengaruh mematikan ini bukan disebabkan karena adanya tenaga listrik tetapi terutama lebih disebabkan karena pengaruh panasnya (Palaniappan, *et al.*, 1990, 1992).

Kecepatan pemanasan ohmik sangat tergantung pada konduktivitas listrik bahan pangan yang sedang diolah. Karena bahan pangan pada umumnya mengandung sejumlah air bebas yang melarutkan garam-garam ionik atau asam-asam, maka bahan pangan yang bersangkutan memiliki sifat konduktivitas listrik. Sebaliknya bahan-bahan seperti lemak dan minyak adalah bahan yang tidak konduktif, oleh karena itu, bahan-bahan seperti ini tidak akan menjadi panas jika diberi listrik. Tabel 3 di bawah ini menunjukkan nilai konduktivitas listrik dari beberapa bahan pangan pada suhu 19°C, dinyatakan dalam siemens/meter (s/m).

Pada umumnya konduktivitas listrik dari bahan pangan cair lebih tinggi daripada padatan. Jika diambil contoh suatu produk saus atau *gravy* yang mengandung potongan kecil daging sapi dengan kadar garam 0,6 - 1%, maka cairan saus seperti ini identik dengan larutan pati 5,5% dengan kadar garam 0,55% dan mempunyai konduktivitas listrik 1,3 s/m (Tabel 3). Sedangkan konduktivitas listrik dari potongan daging sapi tersebut adalah 0,42 s/m. Angka ini menunjukkan bahwa potongan daging sapi mempunyai konduktivitas listrik lebih kecil daripada sausnya sendiri, artinya

jika dipanaskan dengan sistem ohmik, maka potongan daging akan lebih cepat menerima panas daripada sausnya.

Tabel 3. Konduktivitas listrik dari beberapa bahan pangan pada suhu 19°C*

Bahan pangan	Konduktivitas listrik (s/m)
Kentang	0,037
Wortel	0,041
Kacang Kapri	0,17
Daging sapi	0,42
Larutan pati 5,5%	
+ garam 0,2%	0,34
+ garam 0,55%	1,3
+ garam 2%	4,3

* Kim *et al.*, 1996 Sebagai pembanding: konduktivitas listrik air murni $5,7 \times 10^{-6}$ s/m, asam sulfat 1,0 s/m, pada suhu 25°C

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka jika saus yang mengandung potongan daging sapi ini dipanaskan dengan sistem ohmik, maka panas akan mengalir dari dalam potongan daging sapi keluar ke cairan saus, dan bukan sebaliknya seperti pada proses aseptik konvensional. Karakteristik ini sangat menguntungkan karena dengan pemanasan ohmik dimungkinkan untuk melakukan proses pengemasan aseptik pada bahan cair yang mengandung partikel-partikel padatan, misalnya sop cair yang mengandung partikel daging

Berbagai pengembangan masih dilakukan untuk memantapkan aplikasi pemanasan ohmik dalam proses pengemasan aseptik produk pangan berasam rendah agar proses termal yang diberikan menjamin keamanan dari produk yang dihasilkan.

PROSES TERMAL DAN PENGENDALIAN TAHAP KRITIS

Sejak diterimanya *Germ Theory of Disease* sekitar tahun 1865, kita mengetahui bahwa kebanyakan penyakit pada manusia, hewan, atau tanaman disebabkan karena mikroba yang spesifik. Mikroba ini atau senyawa yang dihasilkannya harus masuk ke dalam tubuh manusia, hewan, atau tanaman untuk menimbulkan penyakit. Sebagian besar kasus keracunan atau penyakit karena makanan disebabkan karena empat jenis mikroba berikut: *Salmonella* sp., *Campylobacter*, *Staphylococcus aureus*, dan *Clostridium perfringens* (Gavin dan Weddig, 1995).

Salmonella dapat ditularkan melalui makanan, khususnya makanan yang berasal dari hewan. Bakteri ini peka terhadap panas dan jarang sekali ada jenis yang tahan panas. Salah satu contoh yang tahan panas adalah galur 775W dari *Salmonella senftenberg* yang pernah ditemukan pada susu coklat dan mempunyai nilai *D* pada suhu 79°C berkisar antara 360 sampai 480 menit (Goepfert dan Biggie, 1968). Ketahanan panasnya sangat dipengaruhi oleh medium, antara lain adanya sukrosa dapat meningkatkan ketahanan panas bakteri ini. Karena ketahanan panas *Salmonella* yang relatif rendah, proses pemasakan atau pasteurisasi yang benar pada umumnya dapat mengendalikan bakteri patogen ini. Jika ada keracunan makanan karena *Salmonella* maka kasus ini kemungkinan besar karena kontaminasi silang setelah pemasakan akibat sanitasi yang buruk.

Campylobacter baru diketahui menimbulkan penyakit pada manusia kira-kira pada 15-20 tahun terakhir ini (Skirrow, 1977). *Campylobacter jejuni* adalah bakteri yang bertanggung jawab atas sebagian besar kasus penyakit, diikuti oleh *Campylobacter coli*.

Catatan: Nilai *D* adalah waktu dalam menit yang dibutuhkan untuk memusnahkan 90% atau 1 siklus log dari populasi mikroba pada suhu tetap. (makin besar nilai *D* dari suatu mikroba makin tinggi ketahanan panasnya)

Bakteri ini relatif peka terhadap proses termal, mempunyai nilai D pada suhu 55°C antara 0,6 sampai 2,3 menit (Blankenship dan Craven, 1982), oleh karena itu mudah dimusnahkan pada suhu $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$ selama beberapa menit. Seperti halnya pada *Salmonella*, jika ada kasus keracunan makanan karena *Campylobacter*, maka kemungkinan besar penyebabnya adalah kontaminasi silang setelah pemasakan karena sanitasi yang buruk.

Staphylococcus aureus biasanya mencemari makanan melalui orang. Bakteri ini tidak dapat bersaing dengan bakteri lain, oleh karena itu jarang menimbulkan keracunan pada makanan mentah. *S. aureus* tidak tahan panas dan umumnya mati pada suhu pasteurisasi atau pemasakan. Ketahanan panasnya naik pada makanan kering dan makanan berlemak tinggi. Sesungguhnya yang menjadi masalah adalah enterotoksin yang dihasilkannya. Toksin ini sangat tahan panas dan mungkin tidak rusak pada sterilisasi yang digunakan untuk makanan berasam rendah (Bergdoll, 1989). Sebagai contoh, aktivitas SEA (*staphylococcal enterotoxin A*) dan SED masih dapat dideteksi pada makanan bayi dan sop sayur meskipun sudah disterilisasi pada suhu 124°C dengan F_0 masing-masing sama dengan 3 dan 8 menit (Bennet dan Berry, 1987). Oleh karena itu umumnya keracunan *S. aureus* terjadi pada makanan yang sudah dimasak yang kemudian tercemar kembali oleh orang dan dibiarkan beberapa jam pada suhu kamar sebelum dimakan.

Clostridium perfringens untuk pertama kalinya dilaporkan sebagai penyebab keracunan makanan pada tahun 1943, dan sejak itu kasus-kasus keracunan makanan karena bakteri ini meningkat jumlahnya (ICMSF, 1996). Sel vegetatif *C. perfringens* mudah

Catatan: Nilai F_0 adalah waktu setara dalam menit pada suhu rujukan ($T_{\text{ref}} = 121,1^{\circ}\text{C}$) yang menghasilkan pengaruh mematikan yang sama seperti pemanasan pada suhu T selama waktu t :

$$F_0 = t \times 10^{(T-T_{\text{ref}})/z}$$

Nilai z adalah kenaikan suhu yang dibutuhkan untuk meningkatkan penurunan jumlah mikroba 10 kalinya.

dimusnahkan dengan pemanasan. Ketahanan panasnya dihitung sebagai nilai *D* pada suhu 60°C berkisar antara 5,4 sampai 14,5 menit (Smith *et al.*, 1981). Meskipun demikian, sporanya relatif lebih tahan panas (Tabel 4) dan hanya dapat dimusnahkan dengan proses termal yang cukup. Jika pada bahan pangan, khususnya daging, terdapat spora yang tidak dapat dihilangkan dengan cara sanitasi dan pemasakan yang benar, maka kemungkinan spora ini dapat tumbuh pada saat makanan disimpan cukup lama tanpa pendinginan sebelum disajikan. Oleh karena itu, kasus keracunan makanan oleh bakteri ini biasanya terjadi karena makanan tidak dipanaskan kembali (*reheating*) sebelum dimakan. ✓

Tabel 4. Nilai *D* spora *Clostridium perfringens**

Suhu (°C)	Nilai <i>D</i> (menit)
80	50 - 120
90	1,5 - 15
100	0,5 - 13
110	0,3 - 1,3

* ICMSF, 1996

Pengendalian Tahap Pengolahan Kritis

Hasil survei tentang kasus penyakit karena makanan tahun 1973-1982 di USA menunjukkan bahwa faktor-faktor penyebabnya adalah 56% karena pendinginan yang tidak benar, 31% karena tenggang waktu antara penyiapan makanan dan makan lebih dari 12 jam, 24% karena terkontaminasi oleh karyawan yang menangani bahan pangan, 20% karena pemasakan/pengalengan/pemanasan yang tidak cukup, 16% karena penyimpanan dalam keadaan hangat yang tidak benar, dan 9% karena penambahan ingredien mentah ke

dalam bahan pangan tanpa diteruskan dengan proses pemanasan (Bryan, 1988). Sehubungan dengan hal itu, maka untuk menjamin keamanan produk pangan, khususnya agar produk pangan terbebas dari bahaya mikroba patogen atau mikroba pembusuk, suatu perlakuan proses termal harus diberikan secara tepat.

Di dalam sistem HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*), yaitu suatu sistem untuk menjamin keamanan pangan, perlakuan proses termal untuk memusnahkan mikroba patogen merupakan tahap pengolahan yang dianggap kritis. Dianggap kritis karena jika perlakuan proses termal ini tidak dilakukan dengan benar, maka mikroba patogen yang mungkin terdapat pada bahan pangan dapat menimbulkan masalah kesehatan. Untuk sekedar memberikan gambaran bagaimana proses termal dapat mengendalikan tahap pengolahan kritis, berikut ini adalah aplikasi HACCP untuk mencegah dan mengendalikan pencemaran *Salmonella*.

Salmonella dapat tumbuh pada bahan pangan, khususnya bahan pangan hewani, pada kondisi sebagai berikut: suhu antara 7° - 47°C, a_w di atas 0,94, dan kisaran pH 4 - 8. Pada bahan pangan dengan a_w di atas 0,95, *Salmonella* dapat dengan mudah dimusnahkan pada suhu pasteurisasi. Pada a_w lebih rendah, ketahanan panas bakteri naik. Dengan demikian, untuk produk-produk basah seperti isi telur, maka proses termal pada suhu 61,1°C selama 3,5 menit sudah cukup untuk menghilangkan *Salmonella*. Akan tetapi, untuk bahan pangan kering dibutuhkan proses termal pada suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama, misalnya 30 menit pada suhu 80°C untuk kelapa parut kering (Simenson *et al.*, 1987).

Catatan: Nilai a_w = kelembaban relatif (RH) pada saat bahan pangan mengalami keseimbangan kadar air dibagi 100. Nilai a_w atau aktivitas air menunjukkan status air bebas di dalam bahan pangan, semakin tinggi nilai a_w semakin besar kandungan air bebas yang dapat digunakan oleh mikroba atau reaksi kimia. Semakin rendah nilai a_w semakin rendah kadar air atau semakin terikat air yang terkandung dalam bahan pangan, dan bahan pangan menjadi semakin awet.

Proses Termal Untuk Memusnahkan *Salmonella*

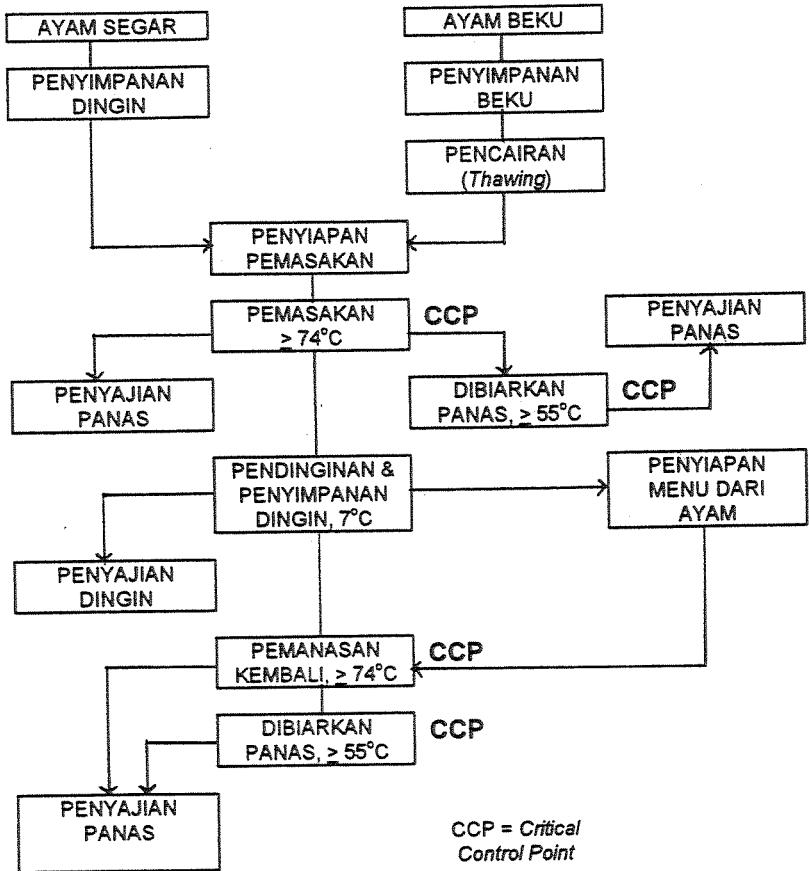
Bahan Pangan Berkadar Air Tinggi

Pada contoh HACCP untuk pengolahan pangan berkadar air tinggi (Gambar 1) terlihat bahwa *pemasakan* adalah tahap pengendalian kritis atau CCP (*Critical Control Point*). Pada tahap ini bagian tengah daging ayam waktu dimasak harus mencapai suhu 74°C. Jika ayam yang sudah masak ini akan disajikan dalam keadaan panas, maka mempertahankan suasana panas pada suhu 55°C merupakan CCP untuk *Salmonella*. Mempertahankan makanan pada suhu 55°C ini atau di atasnya juga dapat mencegah pertumbuhan *C. perfringens*. Meskipun demikian, atas dasar mencegah pertumbuhan bakteri lainnya, pada umumnya suasana panas sebelum penyajian dipertahankan pada suhu 60°C atau lebih. Pemanasan kembali ayam harus mencapai suhu 74°C atau lebih tinggi.

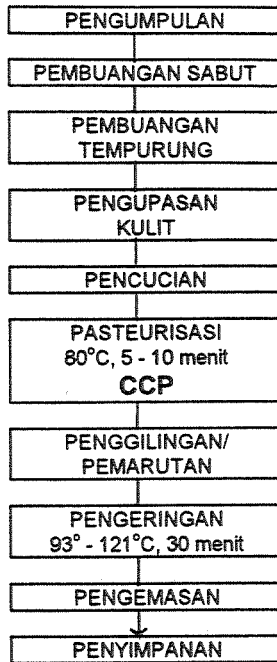
Bahan Pangan Berkadar Air Rendah

Pada contoh HACCP untuk pengolahan pangan berkadar air rendah (Gambar 2) terlihat bahwa *pasteurisasi* kelapa parut dalam air bersuhu 80°C selama 5 sampai 10 menit adalah tahap pengendalian kritis. Perlakuan suhu-waktu ini harus dipantau secara hati-hati karena pada kondisi ini *Salmonella* dapat dimusnahkan. Proses pengeringan meskipun dilakukan pada suhu udara relatif tinggi yaitu 93° - 121°C selama 30 menit bukanlah tahap yang dapat memusnahkan *Salmonella*. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh penguapan yang sifatnya mendinginkan serta adanya penurunan a_w yang dapat meningkatkan ketahanan panas bakteri. Dengan demikian, tahap pengeringan ini tidak dapat dikategorikan sebagai tahap pengendalian kritis.





Gambar 1. Diagram proses pemasakan ayam di restoran (Simonsen *et al.*, 1987).



Gambar 2. Diagram proses pengolahan kelapa parut kering (Simonsen *et al.*, 1987).

Dari uraian kedua contoh HACCP di atas jelas terlihat pentingnya proses termal dalam mengendalikan tahap pengolahan kritis untuk menjamin bahwa bakteri patogen sudah musnah pada tahap pengolahan tersebut. Oleh karena itu, dalam upaya memberikan jaminan keamanan bagi suatu produk pangan seharusnya produsen atau industri pangan serta perusahaan jasaboga dan restoran menggunakan proses termal yang benar, khususnya pada tahap-tahap pengolahan yang dianggap kritis. Cara melakukan proses termal yang benar ini seharusnya menjadi bagian dari prosedur operasi yang baku yang secara rutin diikuti produsen dalam menghasilkan produk pangannya.

Di negara Barat, khususnya USA, pedoman atau petunjuk tentang cara melakukan proses termal yang benar menjadi pegangan produsen dalam upaya untuk menjamin keamanan bagi produk pangan yang dihasilkannya. Sebagai contoh, USDA memberikan petunjuk tentang persyaratan cara memasak produk daging sapi dan unggas agar terbebas dari mikroba patogen, seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter pemasakan dan persyaratan pemasakan untuk produk daging dan unggas dari USDA*

Parameter Pemasakan	
<p>USDA/FSIS telah menentukan suhu bagian dalam minimum yang disyaratkan bagi pemasakan produk daging sapi dan unggas yang tidak mengalami proses <i>curing</i> serta mudah rusak. Persyaratan suhu ini dibakukan dalam Title 9 dari CFR (<i>Code of Federal Regulations</i>), yaitu CFR 301-390 atau dalam kebijakan yang didiseminasikan melalui <i>FSIS Policy Book or Notices</i>.</p>	
Persyaratan Pemasakan	
<p><i>Daging sapi masak dan daging sapi bakar</i> (9 CFR 318.17) (121 menit pada 130°F - sampai mencapai 145°F)</p>	<p>130° - 145°F (54,4° - 62,7°C)</p>
<p><i>Potongan daging panggang</i> (9 CFR 317.8)</p>	<p>160°F (71,1°C)</p>
<p><i>Potongan daging babi</i> (9 CFR 317.8)</p>	<p>170°F (76,7°C)</p>
<p><i>Produk daging unggas</i> (9 CFR 381.150)</p>	<p>160°F (71,1°C)</p>
<p><i>Produk setengah masak berbumbu</i> (FSIS Notice 92-95)</p>	<p>≥ 151°F, 1 menit ≥ 148°F, 2 menit ≥ 146°F, 3 menit ≥ 145°F, 4 menit ≥ 144°F, 5 menit</p>

* Jay, 1992

Penerapan Proses Termal di Industri Pengalengan Pangan

Selama PJP I dan Pelita VI yang sedang berjalan, industri pangan berkembang dengan pesat baik untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri maupun untuk tujuan ekspor. Meskipun masalah utama masih dihadapi seperti masalah kuantitas, kualitas, dan kontinuitas pasokan bahan baku, memasuki PJP II perkembangan industri pangan masih cukup menggembirakan. Pada akhir tahun 1995, tercatat jumlah industri pangan skala menengah-besar mencapai 1343 unit usaha yang meliputi 27 jenis industri. Kapasitas total industri mencapai 33,85 juta ton per tahun dengan total investasi sebesar 20,17 trilyun rupiah. Keseluruhan industri pangan ini menyerap sebanyak 420.374 tenaga kerja. Nilai produksi tahun 1995 mencapai 13,32 trilyun rupiah atau meningkat 28,59% dibandingkan dengan nilai produksi tahun 1994 sebesar 10,63 trilyun rupiah (Widjaja, 1996).

Dari sekian banyak industri pangan ini, sekitar 141 unit di antaranya merupakan industri pengalengan pangan, sebagian mengolah makanan kaleng berasam rendah. Seperti telah diuraikan sebelumnya, proses termal (*scheduled process*) yang diberikan pada produk makanan seperti ini harus memenuhi standar kecukupan panas yang dinyatakan dengan nilai F_0 , khususnya jika ditujukan untuk ekspor. Oleh karena itu, pemeriksaan kecukupan proses termal yang dilakukan industri pengalengan pangan menjadi sangat penting. Melalui pemeriksaan kecukupan proses termal dari produk makanan kaleng berasam rendah yang dihasilkan beberapa industri pengalengan pangan diperoleh data seperti pada Tabel 6 dan 7.

Kesan pertama yang diperoleh dari hasil kajian terhadap proses termal yang diterapkan oleh industri pengalengan pangan selama ini adalah tidak adanya proses termal yang memang dikembangkan dari hasil penelitian optimasi proses. Umumnya proses termal yang digunakan mengacu pada proses yang diberikan oleh pemasok alat retort tanpa memperhitungkan jenis produk makanan kaleng yang

Tabel 6. Kondisi proses termal pada beberapa produk makanan kaleng berasam rendah di beberapa industri pengalengan makanan tahun 1991*

Produk	Ukuran Kaleng	F_0 (men)	T_0 (°C)	P_t (men)	CUT (men)	T_r (°C)
Industri A						
1. Daging bekicot dalam air garam	401 x 411	47,2	60,0	15	6	126,7
2. Jagung kecil dalam air garam	301 x 407	9,5	60,0	8	6	126,7
	603 x 700	27,3	60,0	12	6	126,7
3. Jamur merang dalam air garam	307 x 407	31,1	60,0	13	6	126,7
	603 x 700	148,4	60,0	45	6	126,7
Industri B						
1. Jagung kecil dalam air garam	301 x 407	6,4	62,2	11	6	122,2
	307 x 407	7,4	70,0	12	6	122,2
	603 x 700	6,3	66,1	15	6	122,2
Industri C						
1. Daging bekicot dalam air garam	301 x 407	38,9	86,7	38	10	122,2
	401 x 411	54,7	72,8	46	10	122,2
2. Jagung kecil dalam air garam	301 x 407	5,7	81,7	28	8	117,2
	307 x 407	7,2	81,7	30	8	117,2
	603 x 700	12,1	82,2	40	8	117,2

* Fardiaz dan Kadarisman, 1991; Wirakartakusumah dan Fardiaz, 1991

Keterangan: F_0 = waktu setara dalam menit pada suhu 121,1°C yang menghasilkan pengaruh mematikan, T_0 = suhu awal isi kaleng, P_t = waktu pengolahan oleh operator, CUT = *come up time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu retort, T_r = suhu proses sterilisasi

dikembangkan kemudian, serta tanpa memperhitungkan kondisi higienik dan sanitasi industri pengalengan pangan yang bersangkutan, padahal kedua faktor ini sangat menentukan perhitungan proses termal yang seharusnya diterapkan.

Tabel 7. Kondisi proses termal pada beberapa produk makanan kaleng berasam rendah di beberapa industri pengalengan makanan tahun 1995*

Produk	Ukuran Kaleng	F_0 (men)	T_0 (°C)	P_t (men)	CUT (men)	T_r (°C)
Industri D						
1. Kari ayam	307 x 113	18,4	38,9	60	6	121,7
2. Sosis sapi	301 x 408	4,7	51,1	20	14	117,2
3. Corned beef sapi	persegi (isi 198 g)	13,5	44,7	90	6	116,1
Industri E						
1. Nata de coco	200 x 505	4,9	51,7	20	12	116,1
2. Nata de coco	209 x 311	4,9	66,7	20	12	116,1
3. Nata de coco	209 x 401	6,2	40,6	20	12	116,1
4. Nata de coco	209 x 609	4,6	55,0	20	12	116,1
Industri F						
1. Air kelapa	200 x 505	7,1	68,3	20	12	116,1
2. Air kelapa	209 x 401	4,4	46,1	20	12	116,1
3. Air kelapa	209 x 413	6,1	46,1	20	12	116,1
4. Air kelapa	209 x 614	4,7	71,7	20	12	116,1

* Fardiaz dan Hasbullah, 1995

Dari Tabel 6 dan 7 terlihat juga bahwa kecukupan proses termal yang dinyatakan dengan F_0 sangat bervariasi, berkisar dari mulai 4,38 sampai 148,40 menit, padahal proses termal dengan nilai $F_0 = 4,0$ menit sudah cukup untuk memberikan keamanan pada makanan kaleng berasam rendah. Proses termal dengan F_0 terlalu tinggi hanya memboroskan uap selain mengakibatkan turunnya mutu sensori dan gizinya. Oleh karena itu, industri pengalengan pangan yang menggunakan F_0 terlalu tinggi seharusnya menghitung kembali proses termal yang digunakannya. Dalam hal ini perhitungan optimasi proses harus dilakukan secara seksama, agar produk yang dihasilkan selain terjamin keamanannya juga mutu sensori dan gizinya dapat dipertahankan tetap tinggi serta proses menjadi hemat energi. Optimasi proses ini menjadi sangat penting artinya jika produk yang dihasilkan harus bersaing di pasar global.

PENUTUP

Kondisi iklim tropis negara kita yang panas dan lembab merupakan lingkungan yang sangat mendukung bagi tumbuhnya berbagai jenis mikroba, termasuk mikroba patogen dan pembusuk yang setiap saat mengancam keamanan pangan. Dengan demikian, produsen pangan termasuk industri pangan, jasaboga dan restoran mempunyai risiko cukup tinggi untuk menghasilkan produk pangan yang tidak aman. Karena adanya risiko ini, maka produsen pangan harus selalu waspada dan melakukan tindakan pencegahan termasuk pemusnahan akan mikroba patogen dan pembusuk yang mungkin mencemari produk pangannya.

Cara produksi makanan yang baik (GMP) dan HACCP adalah cara-cara yang sifatnya mencegah kemungkinan tercemarnya produk pangan oleh hal-hal yang membahayakan. Meskipun demikian, penerapan cara-cara yang ideal ini tidak akan berhasil tanpa ada personil kompeten yang melaksanakannya. Oleh karena itu, penyiapan personil-personil kompeten yang mengetahui

masalah pangan dan cara menanganinya, terampil untuk melakukan hal-hal yang sifatnya teknis serta mempunyai sikap peduli terhadap keamanan pangan, merupakan kegiatan strategis yang perlu dilakukan. Personil yang sudah disiapkan ini perlu disertifikasi untuk menjamin bahwa yang bersangkutan benar-benar kompeten atas pekerjaan yang dilakukannya. Untuk menjamin pelaksanaan cara produksi makanan yang baik (GMP) dan aplikasi HACCP, produsen pangan seharusnya mempunyai paling sedikit satu personil yang sudah disertifikasi yang ditempatkan di divisi jaminan mutu (QA). Personil kompeten inilah yang diberi tanggung jawab memantau dan menjaga mutu serta keamanan produk yang dihasilkan produsen pangan yang bersangkutan.

Khusus untuk proses termal makanan kaleng berasam rendah, operator retort adalah salah satu personil yang perlu disertifikasi kompetensinya, karena tahap sterilisasi dalam retort ini merupakan tahap pengolahan yang kritis.

Dalam upaya menjamin keamanan pangan, pengendalian tahap-tahap kritis harus dilakukan dengan cermat dan seksama. Penyusunan prosedur operasi baku (SOP = *standard operating procedure*) adalah satu upaya untuk menjamin dilaksanakannya pengendalian kritis ini. Dengan demikian, pedoman dan petunjuk teknis tentang aplikasi proses termal yang benar perlu disusun dan disebarluaskan kepada setiap produsen pangan. Selain itu, informasi tentang jenis mikroba patogen, spora, ketahanan panas serta cara pemusnahannya juga perlu disebarluaskan kepada produsen pangan, khususnya jasaboga, restoran dan makanan jajanan.

Khusus untuk industri pengalengan pangan disarankan untuk mengecek kembali *scheduled process* yang digunakan untuk mengolah produknya. Pengecekan dilakukan untuk melihat apakah proses termal yang digunakan cukup atau bahkan terlalu berlebihan. Perhitungan optimasi kecukupan panas ini perlu dilakukan dengan tujuan bukan hanya untuk meningkatkan keamanan pangan, tetapi juga untuk menjaga agar mutu produk tetap tinggi dan proses hemat energi.