Validasi Proses Panas Pasteurisasi untuk Seafoods:
Peranan Pengukur Suhu

Dalam paktek di Industri pangan, proses pengawetan setara pasteurisasi bisa dilakukan dengan menggunakan berbagai teknologi. Teknologi yang paling umum digunakan adalah teknologi pamanasan (thermal process). Selain menggunakan air panas atau uap air sebagai sumber panas, proses pemanasan ini bisa dilakukan dengan berbagai teknologi alternatif; seperti pemanasan gelombang mikro dan pemanasan ohmic. Selain pemanasan, pasteurisasi bisa juga dilakukan dengan berbagai teknologi alternatif, antara lain adalah teknologi tekanan tinggi (high pressure processing), teknologi iradiasi dan lain sebagainya. Pembahasan pasteurisasi pada tulisan ini akan terbatas pada pasteurisasi dengan pemanasan (proses panas pasteurisasi).

Untuk bisa mengevaluasi kecukupan proses pasteurisasi, apalagi jika pasteurisasi dilakukan dengan berbagai teknologi yang berbeda, maka diperlukan batasan jelas tentang pasteurisasi. Salah satu batasan proses pasteurisasi yang bisa dirujuk adalah batasan dari National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF) di AS. Menurut NACMCF, pasteurisasi adalah suatu perlakukan, atau kombinasi perlakuan yang diaplikasikan pada produk pangan untuk mengurangi jumlah mikroba yang (i) paling tahan terhadap perlakukan dan (ii) mengancam kesehatan publik, sampai pada jumlah yang yang tidak memberikan ancaman/risiko pada kesehatan publik; jika produk tersebut didistribusikan dan disimpan pada kondisi normal.

Dari batasan tersebut, tujuan utama pasteurisasi adalah untuk memberikan perlindungan kesehatan publik. Namun demikian, pasteurisasi juga akan memperpanjang masa simpan produk. Pasteurisasi jelas tidak bisa disamakan dengan sterilisasi komersial. Produk hasil proses pasteurisasi umumnya memerlukan pendinginan (refrigerasi), sedangkan produk hasil sterilisasi komersial merupakan produk yang shelf-stable, tidak memerlukan pendinginan dalam distribusi dan penyimpanannya (lihat FOODREVIEW, Vol IV Juli 2009). Pada prinsipnya, pengurangan atau inaktivasi total mikroba pada produk pangan tidak bisa dicapai; sehingga selalu saja ada peluang adanya mikroba yang mampu bertahan (survive) selama proses, walaupun kemungkinan itu hanya kecil (misalnya; 1 dalam 1,000,000 kemasan). Walaupun demikian, tingkat pengurangan patogen ini harus dicapai sedemikian rupa sehingga pada akhirnya produk yang dihasilkan tidak akan mengancam kesehatan publik. Untuk penentuan mikroba target (organisms of concern) pada proses pasteurisasi, diperlukan dukungan data epidemiologi yang berkaitan dengan produk tersebut. Itu

sebabnya, masing-masing produk mempunyai mikroba target yang berbeda (Tabel 1). Mikroba target bisa berupa kapang, khamir, bakteri, virus atau pun parasit yang bersifat mengancam kesehatan publik; bersifat beracun dan/atau menularkan penyakit (toxigenic and infectious). Disamping itu, identifikasi mikroba target juga dipengaruhi oleh sifat-sifat ketahanan intrinsik mikroba, jumlah populasi awal, dan pengaruh sifat-sifat bahan pangan pada pertumbuhan dan pertahanan (survival) mikroba. Pasteurisasi pada umumnya didesain untuk menginaktivasi sel-sel vegetatif patogen, termasuk sel-sel vegetatif pembentuk spora. Pada kasus seafoods, pasteurisasi juga didisain untuk menginaktivasikan spora, misalnya spora nonproteolitik dan psikrotrofis *Clostridium botulinum*, misalnya pada daging kepiting (crab meat) yang dipasteurisasi.

Lebih lanjut perlu diingat bahwa proses pasteurisasi tidak mampu memberikan perlindungan terhadap kesehatan publik jika produk tidak dikemas secara kedap; sehingga akan terbuka peluang kontaminasi pasca pasteurisasi; atau pasca pembukaan kemasan oleh konsumen.

Proses pasteurisasi tidak didesain untuk mencegah pertumbuhan mikroba pada segala kondisi penyimpanan. Pada produk yang dipasteurisasi secara khusus harus diberikan penjelasan mengenai bagaimana produk tersebut –secara normal- harus diperlakukan dan disimpan secara aman. Dalam hal ini, penyimpanan normal produk hasil pasteurisasi adalah pada kondisi penyimpanan dingin (refrigerasi), dengan tujuan mempertahankan mutu dan keamanan produk selama penyimpanan tertentu. Umumnya, suhu refrigerasi rumah tangga adalah pada suhu di bawah 45°F (7.2°C). Suhu distribusi dan penyimpanan yang disarankan adalah 41°F (5°C). Penyimpanan pada suhu di atas 50°F (10°C) akan mempercepat kerusakan produk dan bisa mengancam keamanan pangan.

Pasteurisasi seafoods

Berbagai produk seafoods merupakan produk yang bernilai ekonomi tinggi dan relatif mudah

Untuk produk seafood, proses pasteurisasi perlu dilakukan dengan tepat, sehingga tujuan keamanan pangan dan keawetan bisa tercapai dengan baik. Produk daging kepiting, misalnya, biasa ditemukan di pasaran dalam bentuk terpasteurisasi; dengan masa simpan pada suhu refrigerasi selama 6 sampai 18 bulan.

Tabel 1. Evolusi standar pasteurisasi Blue Crab Meat di AS

Parameter Suhu*) dan Waktu**) Pasteurisasi (Hot water batch)	Wadah	Target
71.1°C (160°F) selama 1 menit	Tidak dibatasi	Peningkatan masa simpan
76.7°C (170°F) selama1 menit	Tidak dibatasi	
85°C(185°F) selama 1 menit	Kaleng 401x301	Peningkatan masa simpan
85°C(185°F) selama 4.2 menit	Kaleng 401x301	Proses 12 D; *C. botulinum* tipe E
85°C(185°F) selama 31 menit	Tidak dibatasi	Peningkatan masa simpan dan Proses > 12 D, *C. botulinum* tipe E

*) Suhu titik terdingin
**) waktu titik terdingin berada pada suhu yang dimaksud

Tabel 2. Data empiris hubungan antara Nilai Pasteurisasi dan Daya Awet*)

$F_{185}^{(z=16)}$, menit	Daya awet, pada suhu refrigerasi (bulan)
10-15	1.5
15-20	2-4
20-25	4-6
25-30	6-9
30-40	9-18
> 40	12-36

*) dari Mid-Atlantic Commercial Blue Crab Processing

rusak, sehingga penanganan dan pengolahannya perlu dilakukan secara hati-hati. Secara umum, produk seafoods ditemukan di pasaran dalam tiga bentuk utama; yaitu segar (fresh), terpasteurisasi (pasteurized), dan shelf stable (umumnya dalam bentuk makanan dalam kaleng).

Untuk produk seafood, proses pasteurisasi perlu dilakukan dengan tepat, sehingga tujuan keamanan pangan dan keawetan bisa tercapai dengan baik. Produk daging kepiting, misalnya, biasa ditemukan di pasaran dalam bentuk terpasteurisasi; dengan masa simpan pada suhu refrigerasi selama 6 sampai 18 bulan. Pada awal perkembangannya, daging kepiting diproses panas pasteurisasi dengan tujuan utama memperpanjang masa simpan; tanpa adanya mikroba target, baik patogen maupun pembusuk yang manjadi target. Belakangan, karena berbagai penelitian menunjukkan adanya *C. botulinum* Tipe E, yaitu patogen psikrotrofis yang umum ditemukan pada lingkungan akuatik, maka perhatian mengenai masalah keamanan pangan menjadi lebih utama. Penelitian lanjutan menunjukkan bahwa pemanasan pada daging kepiting biru (blue crab meat) dengan nilai $F_{185}^{(z=16)}$ sebesar 4.2 menit mampu menurunkan jumlah populasi *C. botulinum* tipe E sebanyak 12 siklus log (12D).

Dalam kaitan itu, pada tahun 2001 FDA Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guide memberikan batasan mengenai pasteurisasi seafoods sebagai "a mild or moderate heat treatment, usually performed on fishery products after the product is placed in the finished product hermetically sealed container". Batasan ini mengindikasikan bahwa tujuan proses pasteurisasi seafoods adalah untuk (a) memproduksi produk yang aman selama masa penyimpanan selama waktu tertentu pada suhu refrigerasi, atau (b) untuk mengeliminasi atau mengurangi sejumlah tertentu mikroba patogen yang menjadi target pasteurisasi (misalnya, *L. monocytogenes, V. vulnificus*).

Berdasarkan pada kondisi sanitasi industri perikanan di AS, FDA menyatakan bahwa pemanasan yang mampu mengurangi 6-log bakteri non-proteolitik *C. botulinum* sebagai proses pasteurisasi yang cukup untuk seafood. Namun demikian, saat ini, the National Blue Crab Industry Pasteurization and Alternative Thermal Processing Standards menerbitkan standar bagi anggota industrinya bahwa proses pasteurisasi hendaknya dilakukan dengan standar pemanasan mencapai nilai pasteurisasi, P, >31 min dan produk harus disimpan pada kondisi suhu rendah (Tabel 1).

Dalam hal ini, nilai pasteurisasi (P) dinyatakan sebagai ekivalen waktu pemanasan pada suhu 185°F (85°C) untuk mikroba dengan nilai Z=16°F. Artinya nilai P sering pula dinyatakan sebagai nilai $F_{185}^{(z=16)}$. Selanjutnya; kaitan antara nilai P atau $F_{185}^{(z=16)}$ dengan daya awet secara empiris dapat dilihat Tabel 2.

Faktor kritis

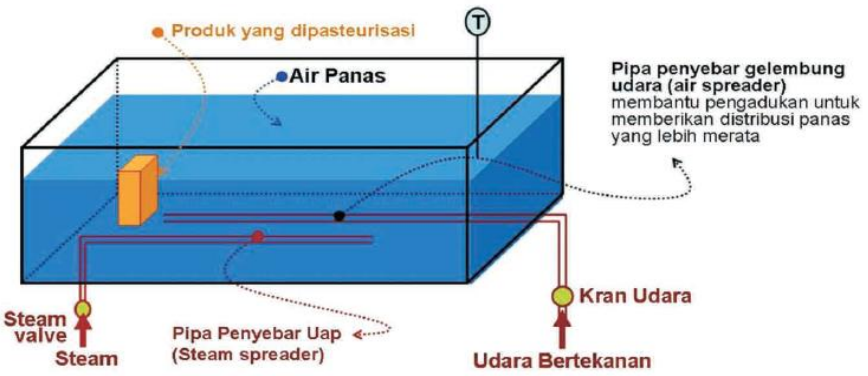
Untuk keperluan validasi dan pengendalian proses; untuk memastikan tercapainya standar minimum nilai P=$F_{185}^{(z=16)}$ yang telah ditetapkan (dengan pertimbangan keamanan dan daya awet), maka parameter kritis proses pasteurisasi perlu diidentifikasi dan dikendalikan dengan baik.

Khususnya untuk pasteurisasi seafood; standar proses yang dijadikan acuan adalah pasterurisasi daging kepiting (crab meat). Pasteurisasi daging kepiting umumnya dilakukan dengan metoda pemasakan dalam bak air panas (hot water bath) untuk produk daging kepiting yang terlebih dulu telah dikemas dalam wadah secara hermetis (Gambar 1). Parameter proses pasteurisasi dengan water bath ini biasanya mengacu pada standar yang tersaji pada Tabel 1. Misalnya, pasteurisasi crabmeat dalam wadah kaleng tinplate (401x301) pada air panas (waterbath) 190°F (87.7°C) sampai titik terdinginnya mencapai suhu 185°F (86°C) selama 1 min, akan memberikan daya simpan 6-18 bulan.

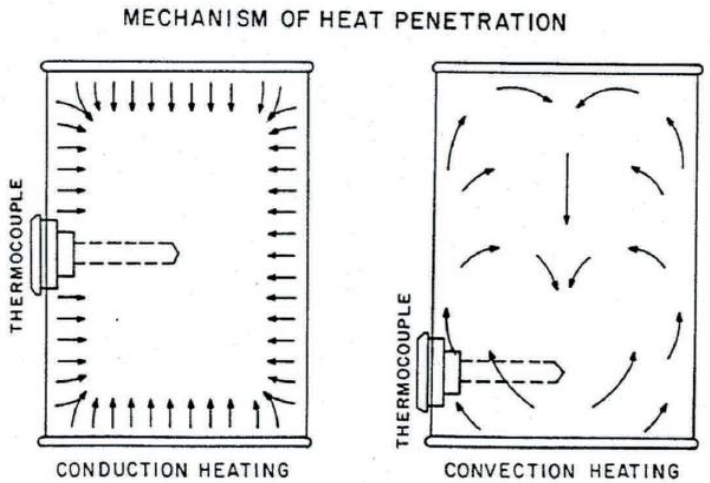
Untuk dapat memberikan proses panas terstandar, pada proses panas pasteurisasi menggunakan bak air panas (Gambar 1), beberapa faktor kritis yang harus dikendalikan dengan baik adalah (i) suhu medium pemanas (air panas pada water bath), (ii) sirkulasi waterbath (keseragaman suhu di setiap posisi waterbath), (iii) waktu (lama) pasteurisasi, dan (iv) jenis, bentuk dan ukuran kemasan. Sedangkan faktor kritis yang terkait dengan produk adalah (i) berat isi; net weight, (ii) ukuran padatan, dan (iii) suhu awal produk (initial temperature; IT). Dalam kaitannya dengan daya awet, beberapa faktor kritis lain adalah (i) jumlah mikroba awal, (ii) komposisi populasi/flora mikroba, (iii) komposisi produk (kadar air, protein, lemak, dan lain-lain), (iv) suhu penyimpanan, (v) integritas kemasan, dan (vi) pendinginan. Secara umum, pendinginan hendaknya dilakukan dengan prinsip "cooling should be as rapid as possible". Oleh National Blue Crab Industry Association (NBCIA) standar pendinginan yang disarankan adalah dengan mengunakan ice-water bath. Dalam hal ini, proses pendinginan dilakukan sampai produkmencapai suhu 55°F (12.7°C) dalam waktu 3 jam, dan selanjutnya disimpan pada ruang refrigerasi 35°F (1.6°C).

Validasi

Validasi terhadap proses pasteurisasi perlu dilakukan terutama karena alasan kesehatan publik. Tidak kalah pentingnya, validasi diperlukan untuk (i) taat terhadap standar keamanan pangan, (ii) jaminan keamanan pangan, dan (iii) pemastian tercapainya kinerja proses tanpa harus melakukan pemanasan berlebihan. Tujuan utama validasi proses panas pasteurisasi adalah untuk menentukan kecukupan nilai P ($F_{185}^{(z=16)}$) berdasarkan pada hasil uji penetrasi panas. Kecukupan pasteurisasi sangat dipengaruhi oleh kecepatan panas berpenetrasi ke dalam produk pangan selama proses pemanasan. Penetrasi panas ini harus ditentukan dengan percobaan, yaitu dengan membuat



Gambar 1. Skema umum alat pasteurisasi dengan menggunakan bak air panas

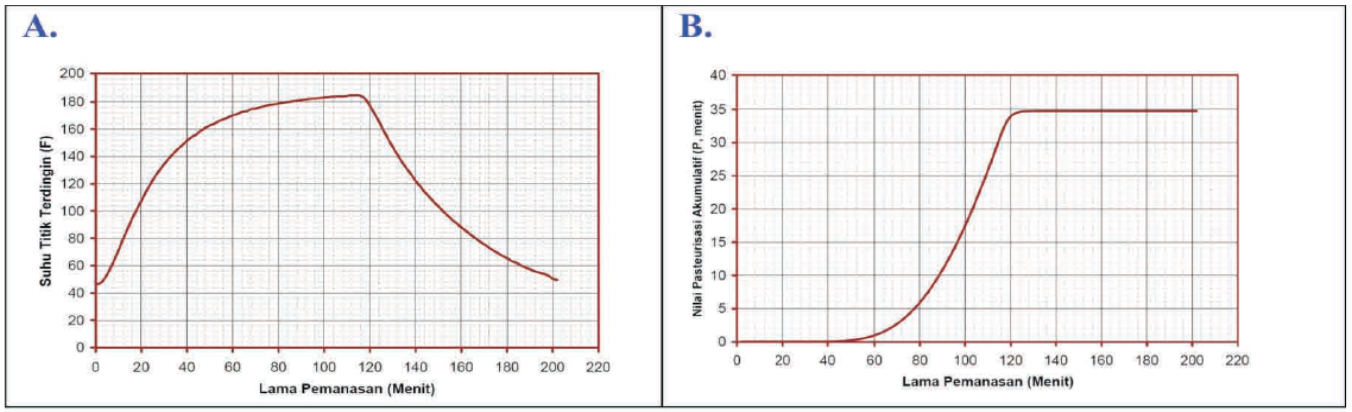


Gambar 2. Titik terdingin dari produk yang mengalami pindah panas secara konduksi dan konveksi, serta posisi pemasangan termokopel untuk pengukuran penetrasi panas.

profil hubungan suhu dan waktu pemanasan, mengolah datanya sehingga diperoleh nilai pasteurisasi (P).

Data penetrasi panas, yaitu data hubungan antara suhu di titik terdingin pada produk selama waktu pemanasan; diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel yang dipasang pada titik terdingin pada produk dari kemasan dan dihubungkan dengan rekorder yang akan mencatat data perubahan suhu terhadap waktu. Titik terdingin atau the coldest point (CP) dari produk dalam kemasan adalah titik dari bagian kemasan yang paling lambat menerima panas selama proses termal. Titik terdingin disebut juga the Slowest Heating Point (SHP).

Titik terdingin menjadi perhatian penting dalam proses termal, karena apabila titik terdingin telah cukup mendapat pemanasan, maka titik-titik lain dalam kemasan dianggap sudah mendapat panas yang mencukupi pula. Penentuan CP produk dapat diperkirakan dari sifat perambatan panas yang terjadi, bentuk kemasan dan ukuran headspace. Untuk produk pangan dengan perambatan panas konduksi pada bentuk silindris serta headspace yang minimal, maka CP umumnya terdapat pada pusat geometri kaleng. Jika headspace-nya diperbesar maka titik terdingin akan mendekati permukaan (tutup kaleng). Sedangkan untuk produk pangan dengan perambatan panas secara konveksi pada kemasan kaleng silindris vertikal akan memberikan titik terdingin di bagian dasar kemasan. Untuk produk yang dikemas dengan pengemas yang mempunyai bentuk dan bahan lain maka posisi titik terdinginnya harus dicari dengan cara mengukur kecepatan panas pada seluruh daerah dalam kemasan dan adatai pencatatan data yang dilakukan dapat diketahui titik mana yang merupakan titik terdingin. Gambar 2 memperlihatkan titik terdingin dari kaleng silinder dan posisi termokopel yang dipasang pada titik terdingin tersebut. Dalam mengukur data penetrasi panas dalam rangka validasi kecukupan pasteurisasi, umumnya dikerjakan dengan mempertimbangkan "worst case scenario"; yaitu situasi "terjelek" yang mungkin terjadi pada proses pengolahan; khususnya yang mempengaruhi kecukupan pasteurisasi. Kondisi "worst case scenario" itu antara lain adalah (i) pasteurizer uji dalam keadaan penuh sesusai kapasitas, (ii) proses pasteurisasi dilakukan bersamaan untuk dua pasteurizer, (iii) tekanan uap dari boiler dalam kondisi minimum, dan (iv) jika ada beberapa pasteurizer maka pasteurizer uji adalah pasteurizer yang paling jauh dengan boiler. Dari sisi produk; kondisi "worst case scenario" itu antara lain adalah (i) kaleng atau wadah



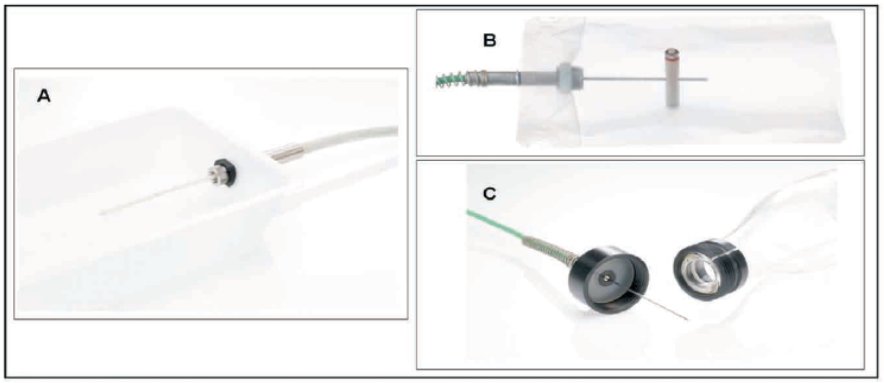
Gambar 4. Tipikal kurva perubahan suhu titik terdingin selama proses pemanasan dan pendinginan (A) dan akumulatif nilai P(B).

dalam kondisi tersisi maksimum, (ii) produk yang diisikan adalah produk dengan ukuran maksimum, dan (iii) suhu awal produk minimum.

Peranan pengukur suhu

Validasi proses pasteurisasi, hanya bisa dilakukan jika bisa dilakukan pengukuran suhu pada titik terdingin (Coldest Point, CP Gambar 2) produk selama proses pemanasan. Pengukuran suhu biasanya dilakukan dengan data logger, yang dilengkapi dengan beberapa termokopel. Di industri; terdapat beberapa jenis data logger dan termokopel yang bisa dipilih. Bahkan, beberapa industri secara khusus menyediakan sistem termokopel yang khusus diciptakan untuk keperluan validasi kecukupan panas, sehingga memudahkan pemasangannya pada berbagai ukuran wadah atau kaleng (Gambar 3). Ada pula yang menyediakan sistem pengukuran suhu secara wireless sehingga lebih memudahkan lagi penggunaannya dalam praktek.

Untuk daging kepiting, –misalnya- ujung termokopel perlu dipastikan berada pada tengah-tengan bagian padatan daging; dan posisinya adalah di titik terdingin. Selanjutnya; kaleng produk yang telah dipasang sistem termokopel diletakkan ditengah-tengah keranjang yang penuh terisi kaleng; untuk bisa mengikuti proses penetrasi panasnya. Suhu pada titik terdingin ini dimonitor (misalnya setiap menit) mulai dari awal pemanasan sampai akhir pendinginan; yang akan menghasilkan tipikal kurva sebagaimana disajikan pada Gambar 4A.



Gambar 3. Contoh pemasangan termokopel pada beberapa bentuk dan jenis kemasan; yaitu wadah plastik (A), kantong plastik pouches (B), dan botol (C).

Jika P adalah ekivalen waktu pemanasan panas suhu referensi 185°F ($F_{185}^{(z=16)}$), maka nilai letal untuk masing-masing suhu pasteurisasi (Lp) dapat dinyatakan sebagai $Lp = 10^{\frac{(T_{ref}-T)}{z}} = 10^{\frac{(185-T)}{16}}$. Dengan demikian, nilai P akumulatif selama pemanasan dapat dinyakan sebagai $P = \int_0^t l_p . dt$, dimana t adalah lama proses pasteurisasi. Berdasarkan data penetrasi panas inilah maka kecukupan panas pasteurisasi bisa ditentukan (Gambar 4B).

Jelas bahwa ketelitian dan ketepatan pengukuran kecukupan panas sangat dipengaruhi oleh ketelitian dan ketepatan pengukur suhu. Untuk itu, perlu dipastikan bahwa semua sistem termokopel tersebut perlu dikalibrasi terlebih dulu; untuk memastikan ketelitian dan ketepatannya. Hal ini disebabkan karena nilai P; sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Kesalahan pengukuran sebesar 1°F; pada sekitar suhu 185°F akan memberikan kesalahan terhadap nilai letal, lp; sebesar 15%. (Nilai lp pada suhu 184°F adalah 0,866, nilai lp pada suhu 185°F adalah 1, dan nilai lp pada suhu 186°F adalah 1,155). Karena itu, selain faktor kemudahan pemasangan, pemilihan sistem termokopel juga harus memperhatikan faktor ketelitian dan ketepatan perlu dipertimbangkan dengan baik.

Purwiyatno Hariyadi