

Parameter Kecukupan Proses Termal

Topik 7

F. Kusnandar, P. Hariyadi
dan N. Wulandari

Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah menyelesaikan Topik 7 ini, mahasiswa diharapkan mampu mendefinisikan nilai sterilitas standar (F_0), nilai F hitung, nilai letalitas (L), konsep 5D dan 12D, menghitung nilai F_0 untuk membunuh mikroba target pada suhu proses standar dan suhu proses yang digunakan, serta menjelaskan faktor-faktor kritis yang mempengaruhi efektifitas proses termal.

Pendahuluan

Proses panas secara komersial umumnya didisain untuk menginaktivkan mikroorganisme yang ada pada makanan dan dapat mengancam kesehatan manusia dan mengurangi jumlah mikroorganisme pembusuk ke tingkat yang rendah, sehingga peluang terjadinya kebusukan sangat rendah. Dalam disain proses termal, ada 2 hal yang harus diketahui, yaitu karakteristik ketahanan panas mikroba dan profil pindah panas dari medium pemanas ke dalam bahan pada titik terdinginnya. Karakteristik ketahanan panas dinyatakan dengan nilai D dan nilai Z . Untuk mencapai level pengurangan jumlah mikroba yang diinginkan, maka ditentukan siklus logaritma pengurangan mikroba. Kemudian dihitung nilai sterilitasnya pada suhu tertentu (F_0). Nilai F_0 ini ditentukan sebelum proses termal berlangsung. Nilai F_0 dapat dihitung pada suhu standar atau pada suhu tertentu, dimana untuk menghitungnya perlu diketahui nilai D dan nilai Z .

Parameter Kecukupan Proses Termal

Pengertian Siklus Logaritma

Proses termal secara komersial didisain untuk menginaktivasi/membunuh mikroba patogen yang ada pada makanan yang dapat mengancam kesehatan manusia dan mengurangi jumlah mikroorganisme pembusuk ke tingkat yang rendah sehingga peluang terjadinya kebusukan sangat rendah. Seperti sudah dibahas pada Topik 4, laju penurunan jumlah mikroba oleh panas hingga level yang aman mengikuti orde 1 atau menurun secara logaritmik. Secara matematis penurunan jumlah mikroba atau siklus logaritma penurunan mikroba (S) dinyatakan dengan persamaan 1 berikut:

$$S = \log \frac{N_o}{N_t} \quad (1)$$

dimana N_t adalah jumlah populasi mikroba setelah proses termal t menit dan N_o adalah jumlah populasi mikroba sebelum proses termal.

Contoh 1:

Berapa jumlah siklus logaritma untuk menurunkan mikroba dari 10^7 cfu/ml menjadi 10^1 cfu/ml?

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan (1) di atas, maka dapat dihitung:

$$S = \log \frac{N_o}{N_t} = \log \frac{10^7}{10^1} = 6$$

Hal ini berarti bahwa telah terjadi pengurangan sebanyak 6 desimal atau sebesar 6 siklus logaritma. Karena untuk melakukan pengurangan sebanyak 1 desimal (1 siklus logaritma) diperlukan waktu sebesar D (untuk suhu tertentu), maka proses untuk menghasilkan $\log (N_o/N) = 6$ tersebut sama dengan 6D atau 6 siklus logaritma.

Nilai Sterilisasi/Pasteurisasi (Nilai F_o)

Proses termal dalam pengolahan pangan perlu dihitung agar kombinasi suhu dan waktu yang diberikan dalam proses pemanasan cukup untuk memusnahkan bakteri termasuk sporanya, baik yang bersifat patogen maupun yang bersifat membusukkan. Kecukupan proses termal untuk membunuh mikroba target hingga pada level yang diinginkan dinyatakan dengan nilai F_o .

Secara umum nilai F_o didefinisikan sebagai waktu (biasanya dalam menit) yang dibutuhkan untuk membunuh mikroba target hingga mencapai level tertentu pada suhu tertentu. Apabila prosesnya adalah sterilisasi, maka nilai F_o diartikan sebagai nilai sterilitas, sedangkan apabila prosesnya adalah pasteurisasi, maka nilai F_o diartikan sebagai nilai pasteurisasi. Nilai F_o biasanya menyatakan waktu proses pada suhu standar. Misalnya, suhu standar dalam proses sterilisasi adalah 121.1°C (250°F), sehingga nilai F_o sterilisasi menunjukkan waktu sterilisasi pada suhu standar 121.1°C .

Secara matematis, nilai F_o merupakan hasil perkalian antara nilai D_o pada suhu standar dengan jumlah siklus logaritmik (S) yang diinginkan dalam proses (persamaan 2). Nilai D_o harus dinyatakan juga pada suhu standar yang sama.

$$F_o = S.D_o \quad (2)$$

Nilai F pada suhu lain (misalnya pada suhu proses yang digunakan) dinyatakan dengan nilai F_T . Secara matematis, nilai F_T dinyatakan dengan persamaan (3), dimana nilai D_T adalah pada suhu T yang sama.

$$F_T = S.D_T \quad (3)$$

Pada Topik 4 sudah dibahas bahwa:

$$\log \frac{D_o}{D_T} = -\frac{T - T_{ref}}{Z} \text{ atau } D_T = D_o 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}}$$

Nilai F akan berubah secara logaritmik dengan berubahnya suhu pemanasan. Untuk menghitung nilai F pada suhu lain, maka digunakan persamaan (4) berikut:

$$F_T = SD_o 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} \text{ atau } F_T = F_o 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan 4 tersebut, maka dapat ditentukan berapa waktu yang diperlukan untuk memusnahkan bakteri atau spora target pada suhu pemanasan yang berbeda.

Untuk memastikan keamanan makanan berasam rendah dalam kaleng, maka kriteria sterilitas yang dipakai adalah berdasarkan pada spora bakteri yang lebih tahan panas daripada spora *Clostridium botulinum*, yaitu spora *Bacillus stearothermophilus* atau sering disebut sebagai FS (*flat sour*) 1518. Disebut sebagai FS 1518 karena pertumbuhan bakteri ini akan menyebabkan kebusukan dengan diproduksinya asam tetapi tanpa gas sehingga bentuk tutup kaleng tetap normal (*flat*). Untuk makanan asam, proses sterilisasi dengan menggunakan panas ini biasanya didisain berdasarkan pada ketahanan panas bakteri fakultatif anaerob, seperti *Bacillus coagulan* (*B. thermoacidurans*), *B. mascerans*, dan *B. polymyxa*.

Contoh 2:

Hitung nilai sterilisasi (F_o) dari suatu proses termal yang dilakukan pada suhu 121.1°C dengan berdasarkan pada mikroba *C. botulinum* sebagai target. Diketahui nilai D_o (121.1°C) dan nilai Z dari *C. botulinum* secara berturut-turut adalah 0.25 menit dan 10°C. Proses dilakukan dengan menerapkan 12 siklus logaritma. Hitung juga nilai F_T bila proses termal dilakukan pada suhu 100°C dan 138°C.

Jawab:

Diketahui : $D_o = 121.1^\circ\text{C}$; $Z=10^\circ\text{C}$, jumlah siklus logaritma = 12

a. Nilai F_o (suhu standar) adalah : $F_o = SD_o = 12 \cdot 0.25 = 3$ menit

b. Nilai F_T (suhu 100°C) adalah : $F_T = F_o 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} = 3 \cdot 10^{\frac{121.1-100}{10}} = 386.5$ menit
= 6.44 jam

c. Nilai F_T (suhu 138°C) adalah : $F_T = F_o 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} = 3 \cdot 10^{\frac{121.1-138}{10}} = 0.06$ menit
= 3.68 detik

Jadi diperlukan waktu 3 menit untuk membunuh *C. botulinum* pada suhu standar (121.1°C). Apabila proses sterilisasi dilakukan pada suhu lebih rendah (100°C), maka diperlukan waktu 6.44 jam, sedangkan apabila dilakukan pada suhu lebih tinggi (138°C), maka hanya diperlukan waktu 3.68 detik untuk membunuh *C. botulinum* hingga mencapai level yang sama.

Dari contoh ini diketahui bahwa proses yang dilakukan pada suhu di bawah 121.1°C memerlukan waktu proses yang sangat lama sehingga proses sterilisasi umumnya tidak dilakukan di bawah suhu 121.1°C, karena akan menyebabkan kerusakan mutu produk. Sebaliknya, pada suhu 138°C hanya membutuhkan sekitar 4 detik untuk mencapai nilai sterilisasi yang diinginkan. Hal ini mengapa proses sterilisasi susu dengan sistem UHT pada suhu 135-140°C dapat dilakukan di dalam *holding tube* dengan waktu hanya 4-6 detik.

Konsep 12D dan 5D

Konsep 12D merupakan konsep yang umum digunakan dalam sterilisasi komersial untuk menginaktivkan mikroorganisme yang berbahaya, yaitu *Clostridium botulinum*. Arti 12D di sini adalah bahwa proses termal yang dilakukan dapat mengurangi mikroba sebesar 12 siklus logaritma atau $F=12D$. Bila bakteri *C. botulinum* memiliki nilai $D_{121}=0.25$ menit, maka nilai sterilisasi (F_0) dengan menerapkan konsep 12D harus ekuivalen dengan pemanasan pada 121°C selama 3 menit. Apabila produk pangan mengandung 10^3 cfu/ml mikroba awal, maka setelah melewati proses 12D tersebut, maka peluang mikroba yang tersisa adalah 10^{-9} cfu/ml. 12D juga dapat diartikan bahwa dari sebanyak 10^{12} kaleng, hanya 1 kaleng yang berpeluang mengandung spora *C. botulinum*.

FDA menetapkan bahwa untuk mencapai tingkat sterilisasi komersial yang terjamin, jumlah bakteri dalam produk pangan setelah sterilisasi harus mencapai 10^{-9} cfu/ml (artinya, peluang kebusukan adalah 1 per 1 milyar kaleng). Dengan demikian, konsep 12D dapat diterapkan dalam proses sterilisasi apabila jumlah awal mikroba tidak melebihi 10^3 cfu/ml.

Konsep 5D banyak diterapkan untuk produk pangan yang dipasteurisasi, karena target mikroba yang dibunuh lebih rendah dibanding pada produk yang disterilisasi komersial. Dalam konsep 5D diterapkan 5 siklus logaritma, yang artinya telah terjadi pengurangan sebanyak 5 desimal atau pembunuhan mikroba mencapai 99.999%. Dengan kata lain pemanasan pada suhu dan waktu tertentu telah menginaktivasi mikroorganisme berbahaya sebanyak 5 desimal atau peluang terjadinya kebusukan makanan dalam kaleng adalah sebesar 10^{-5} . Misalnya, bila digunakan mikroba target untuk pasteurisasi adalah *Bacillus polymyxa* ($D_{100}=0.5$ menit), maka nilai F dengan menerapkan konsep 5D harus ekuivalen dengan pemanasan pada 100°C selama 2.5 menit.

Contoh 3:

Bila diketahui nilai F_0 pada suhu 121.1°C untuk membunuh 99.999% bakteri *C. botulinum* adalah 1.2 menit, hitunglah nilai D_0 dari mikroba tersebut!

Jawab:

Nilai penurunan 99.999% menunjukkan 5 siklus D atau 5D (artinya dari 100.000 bakteri awal, yang tersisa adalah 1). Dengan menggunakan persamaan (2), maka:

$$D_o = F_o/S = 1.2/5 = 0.24 \text{ menit}$$

Contoh 4:

Nilai sterilisasi standar (F_o) suatu proses termal adalah 2.88 menit. Jika setiap kaleng mengandung 10 spora bakteri ($D_o=1.5$ menit), hitunglah peluang kebusukan dari kaleng tersebut oleh spora bakteri tersebut!

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan (1) dengan $F_o=2.88$ menit, maka dapat diperoleh:

$$\text{Log}(N_o/N_t) = 2.88/1.5 \text{ atau } N_t = N_o(10)^{-(2.88/1.5)} = 10(10^{-1.92}) = 0.12$$

Nilai $N_t= 0.12$, artinya peluang kebusukannya adalah 12 kaleng untuk setiap 100 kaleng.

Contoh 5:

Tentukanlah jumlah spora mikroba PA 3679 yang harus diinokulasikan agar peluang kebusukannya satu di antara 100 kaleng yang diinokulasi dengan PA 3679, jika proses panas yang diterapkan adalah 12D untuk *C. botulinum*. Diketahui nilai D_o untuk *C. botulinum* adalah 0.22 menit dan nilai D_o untuk PA 3679 adalah 1.2 menit.

Jawab:

Dari soal di atas diketahui bahwa proses panas yang diterapkan adalah sebesar 12D untuk *C. botulinum*. Hal ini berarti waktu proses yang harus diterapkan adalah:

$$F_o = 12D_o = 12(0.22) = 2.64 \text{ menit}$$

Selanjutnya suhu dan waktu proses yang sama diterapkan untuk mikroba PA 3679 dan ditanyakan jumlah spora mikroba yang harus diinokulasikan agar menghasilkan peluang kebusukan 1 dari 100 kaleng. Dengan persamaan (1) diperoleh:

$$\text{Log}(N_o/N_t) = t_{250}/D_{250} = \text{log}(N_o/10^{-2}) = 2.64/1.2$$

$$\text{Log } N_o = 2.2 + \text{log}(10^{-2}) = 0.2$$

$$N_o = 10^{(0.2)} = 1.58$$

Jadi spora mikroba PA 3679 yang harus diinokulasikan adalah sebesar 1.58 spora mikroba/kaleng atau 158 spora mikroba dalam 100 kaleng.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efektifitas Proses Termal

Pencapaian kecukupan proses panas sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mempengaruhi proses termal harus dikontrol dengan baik dan dikendalikan. Berdasarkan persyaratan pendaftaran ke FDA (buka formulir pendaftaran [frm2541a](#) untuk *in-container sterilization*), terdapat faktor-faktor kritis yang dapat mempengaruhi proses pemanasan dan sterilisasi, yang dapat berbeda antara satu produk dengan produk lainnya. Di antara faktor-faktor kritis yang perlu diidentifikasi pengaruhnya adalah: (a) karakteristik bahan yang dikalengkan (pH keseimbangan, metode pengasaman, konsistensi/viskositas dari bahan, bentuk/ukuran bahan, aktivitas air, persen padatan, rasio padatan/ cairan, perubahan formula, ukuran partikel, sirup strength, jenis pengental, jenis pengawet yang ditambahkan, dsb), kemasan (jenis dan dimensi, metode pengisian bahan ke dalam kemasan), (b) proses dalam retort (jenis retort, jenis media pemanas, posisi wadah dalam retort, tumpukan wadah, pengaturan kaleng, kemungkinan terjadinya nesting, dsb). Beberapa faktor kritis tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Keasaman (Nilai pH)

Salah satu karakteristik produk pangan yang penting yang menentukan apakah proses termal harus sterilisasi atau pasteurisasi adalah tingkat keasaman yang dinyatakan dengan nilai pH. Karena bakteri pembentuk spora umumnya tidak tumbuh pada $\text{pH} < 3.7$ maka proses pemanasan produk berasam tinggi biasanya tidak begitu tinggi, cukup untuk membunuh kapang dan khamir.

Nilai pH kritis yang perlu diperhatikan adalah pH 4.5. Nilai pH ini dipilih sebagai pembatas yang aman, dimana pada pH lebih rendah 4.5 *Clostridium botulinum* tidak dapat tumbuh. *Clostridium botulinum* adalah bakteri obligat anaerob yang banyak terdapat di alam, dan diasumsikan bahwa bakteri tersebut terdapat pada semua produk yang akan dikalengkan. Untuk produk pangan berasam rendah, kondisi anaerob pada kaleng adalah kondisi yang tepat bagi *Clostridium botulinum* untuk tumbuh, berkembang dan membentuk racun. *Clostridium botulinum* ini juga tahan panas dan membentuk spora. Karena itulah maka pada proses sterilisasi komersial produk pangan berasam rendah harus mampu menginaktivasi spora *Clostridium botulinum*. Peraturan tentang makanan kaleng berasam rendah pun sangat ketat dan proses termal harus memenuhi peraturan yang ditetapkan. Di antara peraturan tentang makanan kaleng berasam rendah ini terdapat pada [Code of Federal Regulation \(CFR\) 21 Part 113](#) tentang *Thermally Processed Low-acid Food Packaged in Hermetically Sealed Containers*

Untuk produk pangan yang diasamkan, maka prosedur pengasaman menjadi sangat penting, dimana harus menjamin pH keseimbangan dari bahan harus di bawah $\text{pH} < 4.5$. Untuk itu, perlu diketahui metode pengasaman yang digunakan dan jenis *acidifying agent* yang digunakan (misal asam sitrat, asam asetat, asam malat, saus tomat, asam tartarat, dsb). Bila pengasaman dilakukan secara benar, maka proses termal dapat menerapkan pasteurisasi. Untuk itu, lihat kembali modul pada topik 3 tentang beberapa jenis metode pengasaman. Peraturan tentang peraturan acidified foods dari [CFR 21 Part 108](#).

Viskositas

Viskositas berhubungan dengan cepat atau lambatnya laju pindah panas pada bahan yang dipanaskan yang mempengaruhi efektifitas proses panas. Pada viskositas rendah (cair) pindah panas berlangsung secara konveksi yaitu merupakan sirkulasi dari molekul-molekul panas sehingga hasil transfer panas menjadi lebih efektif. Sedangkan pada viskositas tinggi (padat), transfer panas berlangsung secara konduksi, yaitu transfer panas yang mengakibatkan terjadinya tumbukan antara yang panas dan yang dingin sehingga efektifitas pindah panas menjadi berkurang. Kemudahan pindah panas pada bahan cair dinyatakan dengan koefisien pindah panas konveksi (h), sedangkan untuk bahan pangan padat dinyatakan dengan koefisien pindah panas konduksi (k).

Jenis Medium Pemanas

Pada umumnya menggunakan uap (*steam*) dengan teknik pemanasan secara langsung (*direct heating*). Teknik pemanasan dengan menggunakan uap (*steam*) secara langsung ini dapat dibedakan atas dua macam, yaitu : (i) *steam injection*, yang dilakukan dengan menyuntikkan uap secara langsung kedalam ruangan (*chamber*) yang berisi bahan pangan, dan (ii) *steam infusion*, adalah teknik pemanasan dimana bahan pangan disemprotkan kedalam ruangan yang berisi uap panas. Selain itu, terdapat pula teknik pemanasan tidak langsung (*indirect heating*) yang biasanya dilakukan dengan menggunakan berbagai macam alat pemindah panas antara lain PHE (*Plate Heat Exchanger*), *tubular HE* dan *scraped swept surface HE*. Jenis alat pemindah panas ini umumnya digunakan dalam proses pemanasan sistem kontinyu.

Jenis dan Ukuran Kaleng

Jenis kemasan yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan perambatan panas ke dalam bahan. Misalnya, wadah/kemasan yang terbuat dari bahan yang tipis seperti *retort pouch* dan *stand up pouch*, transfer panasnya lebih cepat dibandingkan dengan kemasan/wadah yang terbuat dari kaleng dengan volume bahan yang sama. Untuk kaleng yang berdiameter lebih besar, efektifitas transfer panas lebih rendah dibandingkan kaleng dengan ukuran diameter yang lebih kecil, karena penetrasi panas lebih cepat.

Rangkuman

1. Penurunan jumlah mikroba atau siklus logaritma penurunan mikroba (S) dinyatakan dengan:

$$S = \log \frac{N_0}{N_t}$$

dimana N_t adalah jumlah populasi mikroba setelah proses termal t menit dan N_0 adalah jumlah populasi mikroba sebelum proses termal.

2. Waktu pemanasan pada suhu T yang diperlukan untuk mencapai nilai sterilisasi/pasteurisasi disebut sebagai nilai F . Apabila pemanasan dilakukan pada suhu standar (misal 121.1°C (250°F) untuk proses sterilisasi), maka waktu

yang diperlukan untuk mencapai nilai sterilisasi tertentu dinyatakan dengan nilai F_o . Nilai F_o dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_o = S \cdot D_o \text{ (pada suhu } 121.1^\circ\text{C)}$$

Nilai F pada suhu lain (F_T), dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$F_T = S \cdot D_T$$

Nilai F pada suhu lain dapat juga dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_T = S D_o 10^{\frac{T_{ref} - T}{Z}} \text{ atau } F_T = F_o 10^{\frac{T_{ref} - T}{Z}}$$

3. Terdapat faktor-faktor kritis yang harus diperhatikan yang dapat mempengaruhi proses termal, di antaranya adalah: (a) karakteristik bahan yang dikalengkan (pH keseimbangan, metode pengasaman, konsistensi/viskositas dari bahan, bentuk/ukuran bahan, aktivitas air, persen padatan, rasio padatan/cairan, perubahan formula, ukuran partikel, syrup strength, jenis pengental, jenis pengawet yang ditambahkan, dsb), kemasan (jenis dan dimensi, metode pengisian bahan ke dalam kemasan), (b) proses dalam retort (jenis retort, jenis media pemanas, posisi wadah dalam retort, tumpukan wadah, pengaturan kaleng, kemungkinan terjadinya nesting, dsb).

Daftar Pustaka

- Fellows, P.J. 1992. Food Processing Technology: Principle and Practice. Ellis Horwood, New York.
- Hariyadi, P. (Ed). 2000. Dasar-dasar Teori dan Praktek Proses Termal. Pusat STudi Pangan dan Gizi IPB, Bogor.
- Holdsworth, S.D. 1997. Thermal processing of Packaged Foods. Blackie Academic & Professional.
- Singh, R.P. and Heldman, D.R. 2001. Introduction to Food Engineering. 3rd ed, Academic Press, San Diego, CA.
- Toledo, R.T. 1991. Fundamentals of Food Process Engineering. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Valentas, K.J., Rotstein, E. Dan Singh, R.P. 1997. Handbook of Food Engineering Practice. CRC Presss, New York.
- Wirakartakusumah, M.A., Hermanianto, D., dan Andarwulan, N. 1989. Prinsip Teknik Pangan. PAU Pangan dan Gizi, IPB.

Pengukuran Distribusi Panas

N. Wulandari,
F. Kusnandar, dan P. Hariyadi

Topik

8

Sub-topik 8.2. Pengolahan Data Distribusi Panas

Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah menyelesaikan sub-topik 8.2 ini, mahasiswa diharapkan mampu mengolah data distribusi panas, dalam penentuan kecukupan proses termal.

Pendahuluan

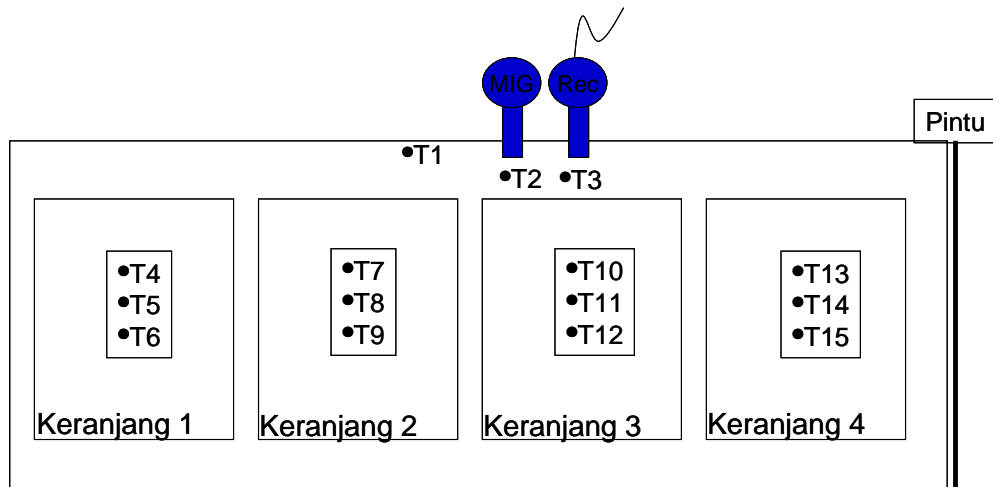
Pengukuran distribusi panas bertujuan untuk mengetahui daerah yang terdingin atau daerah yang paling lambat mencapai suhu proses di dalam retort atau *pasteurizer*. Dengan mengetahui daerah tersebut, maka dapat dilakukan perbaikan pada prosedur *venting* maupun proses suplai panas lainnya agar panas dapat terdistribusi secara merata dalam waktu yang seragam dan tidak terlalu panjang. Melalui uji distribusi suhu ini akan diketahui kondisi terburuk di dalam alat saat operasi proses termal berlangsung. Sebagai konsekuensinya, setelah dilakukan uji distribusi panas, maka uji penetrasi panas untuk melihat perambatan panas di dalam wadah/kaleng juga harus dilakukan pada wadah/kaleng yang diletakkan pada daerah terdingin di dalam retort atau *pasteurizer* tersebut. Dengan demikian, akan dijamin bahwa apabila daerah terdingin dan terlambat mengalami penetrasi panas terlambat sudah memenuhi kecukupan panas, maka daerah yang lebih tinggi suhunya akan terpenuhi kecukupan panasnya.

Setelah melakukan pengujian distribusi suhu sesuai dengan prosedur yang telah direkomendasikan oleh *Institute of Thermal Processing Specialists* yang diuraikan pada Sub Topik 8.1, maka data yang telah diperoleh selanjutnya perlu diplotkan dan dianalisis untuk menentukan profil distribusi yang terjadi di dalam retort atau *pasteurizer* selama proses pemanasan berlangsung.

Contoh Kasus Pengujian Distribusi Panas

Di dalam pengujian distribusi panas, perlu dibuat gambar skematik yang memperlihatkan penempatan seluruh TMD di dalam retort. Gambar ini merupakan bagian dari pencatatan yang kritis pada pengujian distribusi panas. Dengan melihat gambar tersebut, plot suhu akan menggambarkan profil suhu

yang sesuai dengan lokasi yang diukur suhunya. Contoh gambar skematik penempatan TMD di dalam retort dapat dilihat pada **Gambar 8.3**.



Gambar 8.3. Gambar skematik penempatan TMD di dalam retort

Pada contoh kasus ini, digunakan 15 TMD yang diletakkan pada posisi yang tersebar pada dinding retort (T1), MIG (T2), *recorder* (T3) serta 12 buah TMD lainnya yang masing-masing diletakkan pada bagian tengah keranjang retort.

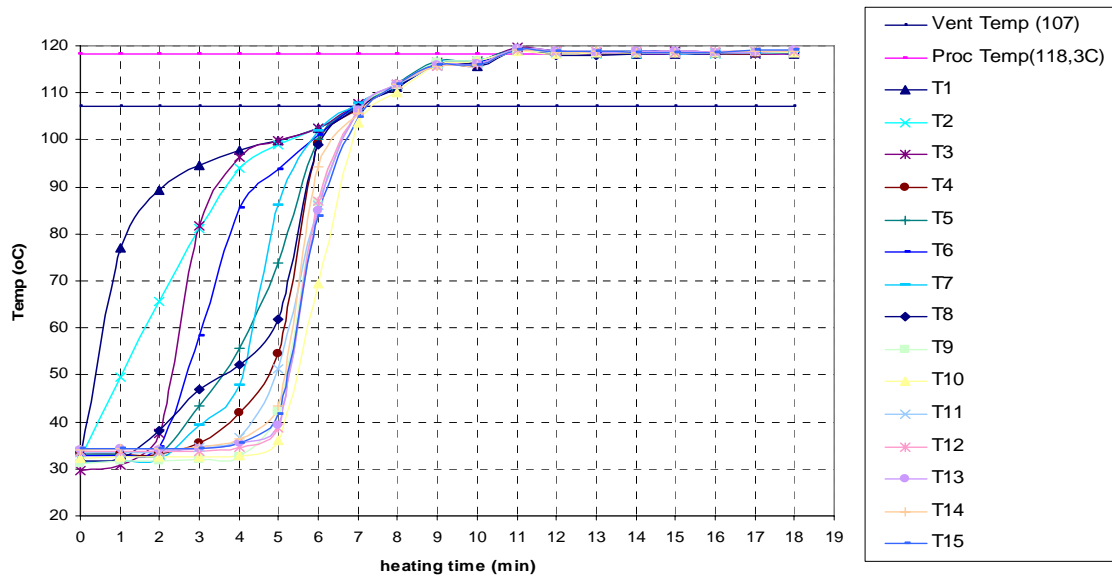
Proses yang akan diuji distribusi panasnya ini adalah proses sterilisasi dengan retort pada suhu *venting* 107°C dan suhu proses 118.3°C. Setelah melalui prosedur pengujian distribusi yang benar, akan diperoleh data hasil pengukuran suhu yang terjadi pada bagian-bagian retort yang diukur tersebut selama proses pemanasan. Set data suhu dan waktu yang diperoleh pada contoh kasus ini disajikan pada **Tabel 8.1**.

Tidak terdapat pengolahan data yang khusus di dalam pengujian distribusi panas. Yang perlu dilakukan adalah melakukan plot data suhu dan waktu yang dicatat oleh *recorder* pada setiap termokopel yang digunakan untuk memantau suhu di berbagai titik di dalam retort.

Setelah data hasil pengukuran setiap termokopel terkumpul dan direkapitulasi, selanjutnya dibuat plot data tersebut pada grafik dengan sumbu x adalah waktu pengamatan suhu, dan sumbu y adalah suhu yang terukur pada TMD atau termokopel yang telah dikalibrasi dengan termometer yang akurasinya telah diketahui. Hasil *plotting* data distribusi panas tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8.4**.

Tabel 8.1. Data suhu yang terukur oleh TMD selama proses pemanasan

T (menit)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T _{min}	T _{max}	T _{rata2}
0	32.2	32.2	29.6	33.4	33.1	32.9	31.3	31.6	31.2	32.4	33.4	33.7	33.9	34.1	34.2	29.6	34.2	32.61
1	77.1	49.4	30.9	33.1	33.1	32.8	31.7	32.2	31.6	32.5	33.4	33.8	34.2	34.3	34.3	30.9	77.1	36.96
2	89.2	65.6	37.5	33.2	33.3	34.7	32.1	38.2	31.7	32.6	33.5	33.6	34.1	34.2	34.2	31.7	89.2	39.85
3	94.6	81.2	81.7	35.4	43.4	58.2	39.3	46.8	31.9	32.9	34.5	33.8	34.4	34.6	34.2	31.9	94.6	47.78
4	97.7	93.9	96.2	41.8	55.8	85.6	47.8	52.3	32.5	36.2	36.6	34.5	35.4	36.4	35.4	32.5	97.7	54.32
5	99.9	98.9	99.9	54.6	73.8	93.6	86	61.8	42.3	69.3	51.2	38.6	39.2	43.3	41.6	36.2	99.9	64.06
6	103	103	103	99.2	100	101	102	98.9	86.6	104	86	87	84.9	54.2	83.7	69.3	102.6	93.38
7	107	107	108	107	107	108	108	107	106	110	107	106	106	105	105	103.7	107.8	106.5
8	111	112	112	112	112	112	112	111	111	116	112	112	112	112	112	110.1	111.9	111.5
9	116	116	116	116	117	117	117	116	117	117	116	116	116	116	116	115.6	116.7	116.1
10	116	116	117	116	117	117	117	116	117	119	116	116	116	116	119	115.5	116.9	116.4
11	119	119	120	119	119	119	119	119	119	118	119	119	119	119	119	118.9	119.6	119.2
12	119	119	119	118	119	118	119	118	118	119	119	119	119	119	119	117.9	118.8	118.5
13	118	118	118	118	119	119	119	118	119	119	119	119	119	119	119	118	118.8	118.5
14	118	118	119	119	119	119	119	118	119	119	119	119	119	119	119	118.1	118.8	118.6
15	118	118	119	119	118	118	118	119	118	118	119	119	119	118	119	118.3	118.7	118.5
16	119	118	118	118	118	118	118	118	119	119	118	119	119	119	118	118.3	118.7	118.5
17	118	118	118	118	118	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	118.3	119	118.6
18	118	118	119	119	119	119	118	118	119	119	119	119	119	119	119	118.3	119	118.6



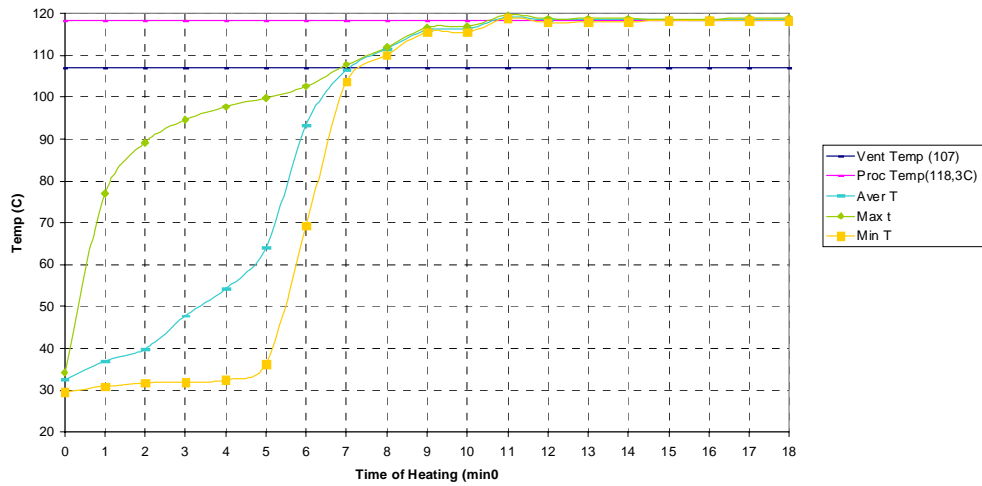
Gambar 8.4. Grafik distribusi panas pada retort uji selama proses pemanasan

Melalui **Gambar 8.4** dapat dilihat profil peningkatan suhu pada setiap bagian retort yang diukur dengan TMD selama proses pemanasan. Suhu awal proses rata-rata adalah 32.61°C , dan setelah uap dialirkan (*steam on*), maka setiap bagian retort akan mengalami peningkatan suhu dengan profil yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian awal pemanasan yaitu pada saat proses *venting* masih berlangsung, suhu masih belum merata karena udara masih dalam proses untuk dikeluarkan dari dalam retort. Ada yang peningkatan suhunya cepat pada T_6 , ada juga yang sangat lambat seperti pada T_{10} .

Setelah suhu *venting* tercapai, tampak bahwa suhu setiap bagian retort telah hampir sama. Setelah *vent* ditutup, maka seluruh bagian retort akan mencapai suhu proses yang telah ditentukan yaitu 118.3°C . Waktu tercapainya suhu *venting* adalah 7 menit, dan waktu tercapainya suhu proses adalah selama 11 menit. Pada kasus ini, melalui hasil pengujian distribusi panas di dalam retort uji dapat disimpulkan bahwa retort telah mengalami proses pemanasan awal yang baik karena panas dapat terdistribusi secara merata pada waktu CUT yang cukup singkat untuk mencapai suhu proses yang seragam.

Untuk lebih dalam melihat kondisi distribusi panas di dalam retort, dilakukan perhitungan suhu maksimum (T_{\max}), suhu minimum (T_{\min}) dan suhu rata-rata (T_{rata2}) pada data hasil pengujian tersebut. Plot data suhu minimum dan maksimum tersebut disajikan pada **Gambar 8.5**.

Pada gambar tersebut terlihat adanya perbedaan suhu yang cukup ekstrim pada bagian-bagian retort pada saat *venting* dilakukan. Sementara di satu titik telah tercapai suhu 100°C , di titik lain suhunya baru mencapai 37°C . Walaupun pada kasus ini, suhu *venting* telah tercapai pada waktu yang relatif singkat sekitar 7 menit, bila memungkinkan dapat dilakukan upaya untuk mempercepat keseragaman suhu di dalam retort. Upaya perbaikan pendistribusian panas secara lebih merata dapat dilakukan baik melalui perbaikan instalasi peralatan retort, maupun suplai uap yang sebarakan ke dalam retort.



Gambar 8.5. Profil suhu minimum, maksimum dan rata-rata pada retort uji selama proses pemanasan

Daftar Pustaka

Haryadi, P. (ed). 2000. Dasar-dasar Teori dan Praktek Proses Termal. Pusat Studi Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.

Institute For Thermal Processing Specialists. 2001. Temperature Distribution Protocol For Processing in Steam Still Retorts, Excluding Crateless Retorts.

Evaluasi Kecukupan Proses Termal

Topik
10

F. Kusnandar, P. Hariyadi
dan N. Wulandari

Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah menyelesaikan Topik 10 ini, mahasiswa diharapkan mengolah data penetrasi panas (perhitungan nilai letal rate (LR) dan nilai letalitas (L) serta pembuatan grafiknya), menghitung nilai sterilitas (F_0) berdasarkan data penetrasi panas, dan menentukan apakah suatu desain proses termal yang dilakukan sudah tercapai berdasarkan hasil perhitungan nilai F_0 .

Pendahuluan

Data hasil pengukuran penetrasi panas perlu diolah dengan tujuan untuk menentukan nilai sterilitas (F_0) dari proses termal yang dilakukan. Di antara metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai F_0 dari hasil pengukuran penetrasi panas adalah dengan menggunakan metode trapesium. Dengan membandingkan nilai F_0 pada desain proses termal yang dilakukan dengan nilai F_0 pada suhu standar, maka dapat ditentukan apakah proses termal yang diterapkan sudah memenuhi kecukupan proses panas atau belum. Apabila nilai F_0 proses yang diperoleh dari hasil pengukuran penetrasi panas lebih besar dari nilai F_0 , maka proses termal yang dilakukan telah mencukupi. Sedangkan apabila nilai F_0 proses kurang dari F_0 , maka proses termal tidak tercapai (*under process*). Dengan cara seperti ini maka dapat ditentukan apakah suatu desain proses termal sudah cukup untuk memastikan inaktivasi bakteri atau spora yang tidak diinginkan.

Nilai sterilisasi (F_0) yang didesain sebagai target proses termal dilakukan pada suhu standar, dimana untuk proses sterilisasi suhu standar yang umum digunakan adalah 250°F (121.1°C). Artinya, waktu proses untuk menjamin mikroorganisme telah dibunuh hingga level yang aman terjadi pada suhu konstan (250°F). Pada kenyataannya –sebagaimana telah dijelaskan di atas-, proses pemanasan tidak berlangsung pada suhu konstan, dimana terdapat fase pemanasan, holding dan pendinginan. Oleh karena itu, nilai sterilisasi (F_0) untuk proses termal yang sesungguhnya harus memperhatikan pengaruh total dari proses pemanasan pada fase pemanasan, *holding* dan pendinginan terhadap pembunuhan mikroorganisme.

Dalam Topik 10 ini akan dibahas tahap demi tahap proses menghitung nilai F_0 dari hasil pengukuran penetrasi panas dengan menggunakan metode trapesium, mulai dari membuat plot data penetrasi panas, menghitung nilai letal rate (LR), menghitung nilai F_0 proses, dan menarik kesimpulan kecukupan proses panas dengan membandingkan nilai F proses dengan nilai F_0 . Metode perhi-

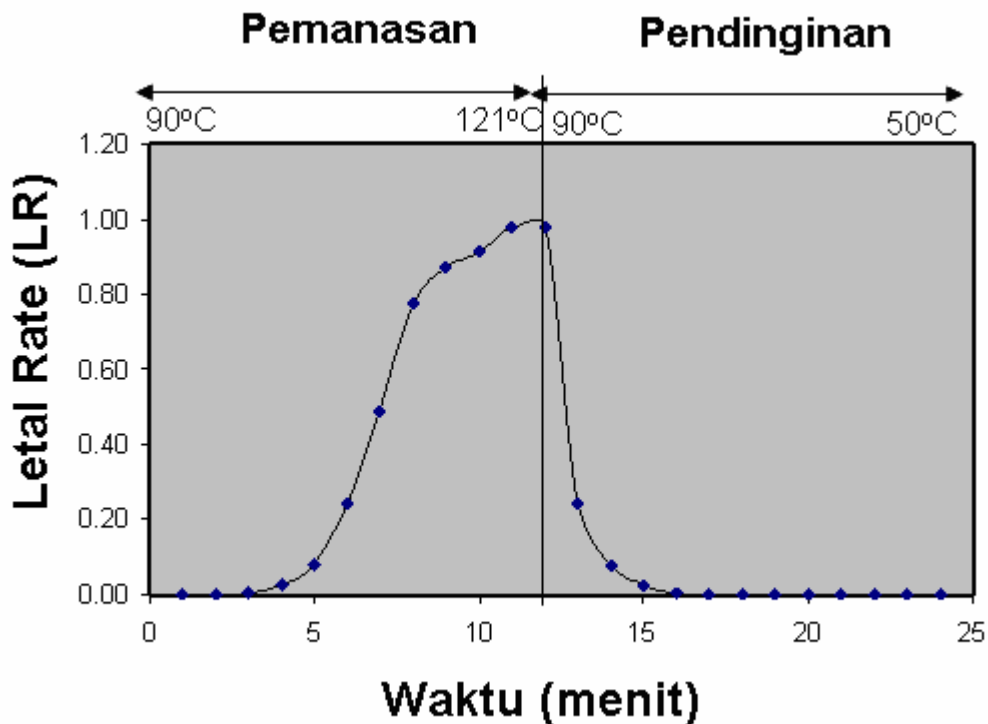
tungan ini khusus untuk proses termal dalam sistem batch (still retort atau bak pasteurizer).

Nilai Letal Rate (LR)

Efek letalitas dari proses pemanasan bahan selama proses termal akan berbeda pada suhu yang berbeda. Pada kenyataannya, dalam proses termal suhu akan berubah selama waktu pemanasan/pendinginan dan berkontribusi dalam pembunuhan mikroorganisme. Untuk menentukan efek letalitas pada suatu suhu, maka didefinisikan nilai letal rate (LR). Nilai LR adalah efek letalitas pada suhu tertentu dibandingkan dengan suhu standar. Nilai LR suatu proses sterilisasi dapat dihitung dengan mengkonversikan waktu proses pada suhu-suhu tertentu ke waktu ekuivalen pada suhu standar. Secara matematis, nilai L dihitung dengan persamaan 1 berikut:

$$LR = 10^{\frac{(T-T_{ref})}{Z}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1) tersebut, maka nilai LR tidak memiliki satuan. Secara grafis, nilai LR pada berbagai suhu dapat diplotkan seperti terlihat pada **Gambar 10.1**. Dari grafik ini maka dapat dilihat bahwa baik proses pemanasan maupun pendinginan memberikan kontribusi pada pembunuhan mikroba. Nilai letal rate pada suhu standar (misal 250°F untuk proses sterilisasi) adalah 1. Pada suhu > suhu standar, maka nilai LR > 1, sedangkan bila suhu < suhu standar, maka nilai LR < 1.



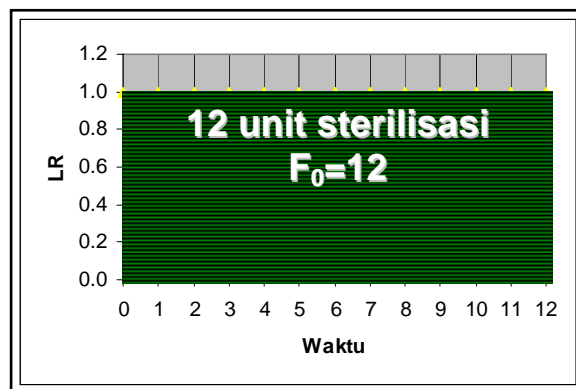
Gambar 10.1. Nilai letal Rate (LR) selama proses pemanasan dan pendinginan

Contoh 1:

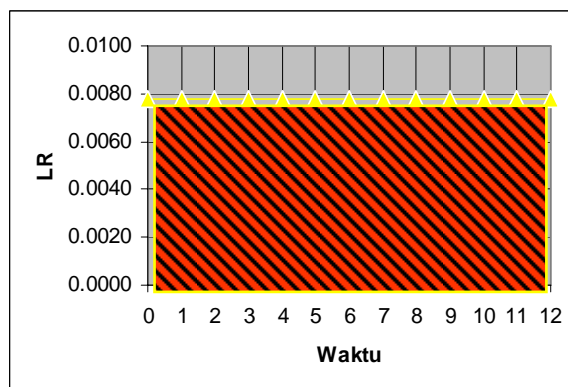
Hitunglah nilai letal rate (LR) pada suhu konstan 121.1°C dan 100°C, dimana pemanasan dilakukan selama 12 unit waktu.

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan 1, maka diperoleh nilai LR pada suhu 121.1°C = 1. Nilai LR pada 121.1°C ini konstan selama proses pemanasan, sehingga untuk pemanasan selama 12 unit waktu diperoleh nilai sterilisasi (F_0) = $1 \times 12 = 12$ unit waktu. Lihat luasan kurva pada gambar berikut:



Untuk sterilisasi pada suhu 100°C, maka nilai LR adalah 0.007762 (lihat gambar). Untuk pemanasan selama 12 unit waktu, maka nilai sterilisasi pada 100°C adalah $0.007762 \times 12 = 0.10091$ unit waktu. Dari sini dapat diketahui bahwa pada suhu 100°C unit sterilitasnya hanya 0.007762 kali dibandingkan unit sterilitas pada suhu 121.1°C. Untuk menghasilkan 1 unit sterilisasi yang sama dengan suhu 121.1°C (pemanasan selama 1 unit waktu), maka pemanasan pada suhu 100°C memerlukan waktu 120 unit waktu.



Contoh 2:

Hasil pengukuran penetrasi panas pada still retort pada titik terdingin memberikan data berikut. Hitunglah nilai letal rate pada masing-masing suhu dan buat plot hubungan antara nilai LR dan waktu. Dalam proses ini digunakan sebagai standar adalah *C. botulinum* (suhu referensi (T_{ref}) 121.1°C, $D=0.21$ menit, $Z=10^\circ\text{C}$).

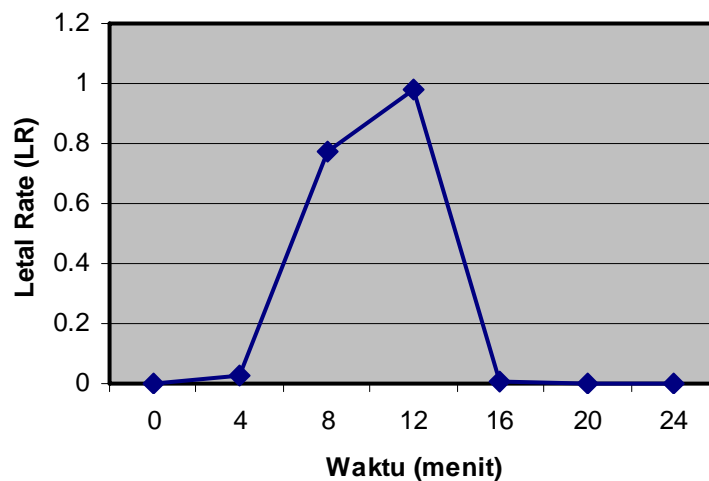
Waktu (min)	Suhu (°C)
0	90
4	105
8	120
12	121
16	100
20	90
24	60

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan 1, maka dapat diperoleh nilai LR dari masing-masing suhu sebagai berikut:

Waktu (min)	Suhu (°C)	Nilai LR
0	90	0.000776
4	105	0.024547
8	120	0.776247
12	121	0.977237
16	100	0.007762
20	70	0.000008
24	60	0.000001

Plot kurva nilai letal rate adalah sebagai berikut:



Waktu Proses Pada Suhu Lain

Untuk menghitung waktu proses atau nilai F pada suhu lain (F_T), maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Waktu proses } (F_T) = \frac{1}{LR_T} x SD_o = \frac{1}{LR_T} F_o = 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} F_o \quad (2)$$

Nilai letal rate umumnya memberikan nilai yang nyata pada suhu $>90^{\circ}\text{C}$. Pada suhu di bawah 90°C , nilai letalitas terlalu kecil sehingga kontribusinya dapat diabaikan. Apabila proses sterilisasi dilakukan pada suhu $<100^{\circ}\text{C}$, maka memerlukan waktu yang sangat lama yang akan menyebabkan kerusakan mutu produk.

Contoh 3:

Diketahui *C. botulinum* memiliki nilai D_0 sebesar 0,21 menit. Jika dikehendaki proses panas adalah sebesar 12D, hitunglah berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai 12D tersebut pada suhu 121.1°C , 100°C , 129°C , dan 50°C .

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan (2), maka waktu proses yang diperlukan untuk memberikan nilai sterilitas yang sama adalah sebagai berikut:

- Pada pemanasan suhu 121.1°C , diperlukan waktu proses (F_0) = $12(0,21) = 2.52$ menit.
- Pada pemanasan suhu 100°C , diperlukan waktu proses (F_{100}) = $1/LR_{100\text{C}} \times 2.52$ menit = $1/0.00776 \times 2.52 = 324.7$ menit atau 5.4 jam.
- Pada pemanasan suhu 129°C , diperlukan waktu proses (F_{129}) = $1/6.166 \times 2.52$ menit = 0.408 menit atau 24.5 detik.
- Pada pemanasan suhu 50°C diperlukan waktu proses (F) = $1/0.000000078 \times 2.52 = 32307692.31$ menit atau sama dengan 747.8 bulan !!!.

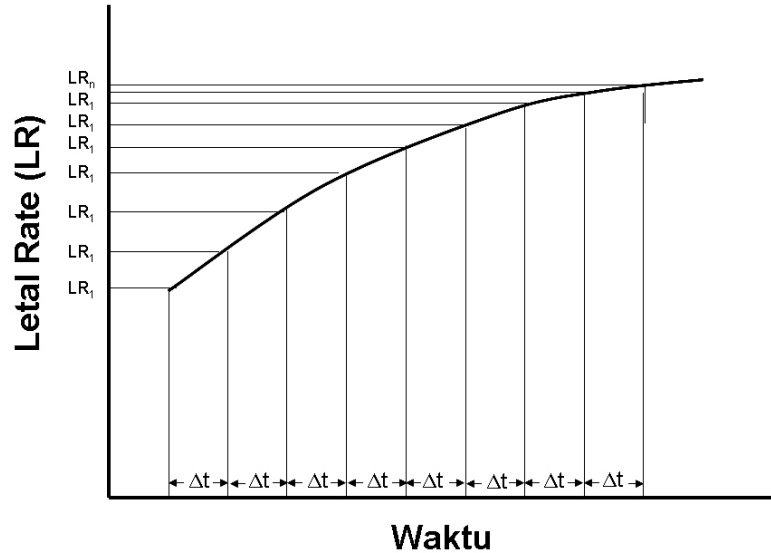
Dari hasil perhitungan ini, maka dapat diketahui bahwa efek letalitas pada suhu 100°C yang kecil menyebabkan waktu proses harus dilakukan pada waktu yang lama. Hal ini menjelaskan mengapa proses sterilisasi biasanya dilakukan pada suhu $>100^{\circ}\text{C}$ untuk mencegah kerusakan mutu produk. Suhu pemanasan $<90^{\circ}\text{C}$ umumnya tidak diperhitungkan, karena memberikan nilai sterilitas yang sangat kecil (terlihat waktu pemanasan untuk memberikan nilai sterilitas yang sama membutuhkan waktu yang sangat lama). Proses sterilisasi pada suhu 129°C membutuhkan waktu yang sangat singkat. Prinsip ini diterapkan pada sistem sterilisasi dengan UHT (*ultra high temperature*) yang hanya membutuhkan waktu beberapa detik untuk memberikan nilai sterilisasi yang sama dengan 121.1°C .

Nilai Sterilitas dan Evaluasi Kecukupan Proses Termal

Nilai sterilitas dari proses dengan menggunakan metode trapesium dihitung dari luasan daerah di bawah kurva. Luasan di bawah kurva tersebut dianggap trapesium, sehingga titik-titik yang terdapat dalam kurva dianggap sebagai titik-titik sudut dalam trapesium. Untuk menghitung luas trapesium tersebut, maka luas area trapesium dibagi menjadi sejumlah trapesium atau paralelogram pada interval waktu (Δt) tertentu (**Gambar 10.2**). Kemudian luasan di bawah kurva untuk masing-masing luasan dihitung dengan rumus trapesium, yaitu rata-rata tinggi trapesium dikalikan dengan lebar (Δt) (persamaan 3). Hasil perkalian ini

menunjukkan nilai letalitas atau nilai sterilitas parsial (F_o parsial) pada Δt tersebut.

$$\text{Nilai letalitas} = F_o \text{ parsial} = \text{Luas trapesium} = \frac{1}{2} (L_o + L_1) \Delta T \quad (3)$$



Gambar 10.2. Kurva letal rate (LR) dalam proses termal

Selanjutnya masing-masing letalitas atau F_o parsial tersebut dijumlahkan (persamaan 4). Jika luas tersebut dibagi menjadi n bagian, maka akan mempunyai $n+1$ tinggi trapesium mulai dari $n=0$ sampai $n=n$.

$$\begin{aligned} \text{Luas total} &= \frac{1}{2}\Delta t(LR_0 + LR_1) + \frac{1}{2}\Delta t(LR_1 + LR_2) + \frac{1}{2}\Delta t(LR_{n-1} + LR_n) \\ &= \frac{1}{2}\Delta t(LR_0 + 2 LR_1 + 2LR_2 + 2 LR_{n-1} + LR_n) \end{aligned} \quad (4)$$

Hasil penjumlahan nilai F_o parsial ini menunjukkan nilai sterilisasi total (F_o total) dari proses yang dilakukan (persamaan 5 dan 6).

$$F_o = \int_0^t (LR) dt \quad (5)$$

$$\text{Atau:} \quad F_o = \sum \left(\frac{LR_n + LR_{n-1}}{2} \right) \Delta t \quad (6)$$

dimana:

F_o = nilai sterilisasi pada suhu 250°F (121.1°C) bagi mikroorganisme yang mempunyai nilai Z tertentu

ΔT = peningkatan atau selang waktu yang digunakan untuk mengamati nilai T

T = suhu pengamatan pada waktu tertentu

LR = $10^{(T-T_{ref}/z)}$ adalah nilai letal rate

Selanjutnya bandingkan nilai F_0 hasil perhitungan menggunakan metode trapesium dengan nilai F_0 standar. Bila F_0 hitung $\geq F_0$ standar, maka proses termal mencukupi, sedangkan bila F_0 hitung $< F_0$ standar, maka proses termal tidak mencukupi (*under process*). Proses termal dikatakan mencukupi berarti proses termal yang dirancang menjamin inaktivasi mikroba target. Apabila nilai F_0 hitung terlalu besar dari nilai F_0 standar, maka dikatakan proses termal *over process* (dapat menyebabkan penurunan mutu produk dan pemborosan energi).

Contoh 4:

Dari data pada contoh 2, hitunglah nilai F_0 parsial dan F_0 total dari proses sterilisasi tersebut dengan menggunakan metode trapesium. Simpulkan apakah proses sterilisasi yang dilakukan telah mencukupi, bila menerapkan 12 siklus logaritma.

Jawab:

Nilai F_0 standar untuk proses sterilisasi yang dilakukan adalah $0.21 \times 12 = 2.52$ menit. Gambar nilai LR dan nilai F_0 untuk proses termal yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Waktu (min)	Suhu (SHP)	LR (z=10°C)	LR1+LR2	(LR1+LR2)/2	Menit	Luas trapezium (Fo parsial)
0	90	0.000776				
4	105	0.024547	0.025323336	0.012661668	4	0.050647
8	120	0.776247	0.800794206	0.400397103	4	1.601588
12	121	0.977237	1.753484338	0.876742169	4	3.506969
16	100	0.007762	0.984999692	0.492499846	4	1.969999
20	90	0.000008	0.007770233	0.003885117	4	0.01554
24	60	0.000001	0.000008538	0.000004269	4	0.000017
					Fo	7.144761

Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa nilai F_0 hitung adalah 7.14 menit. Karena nilai F_0 hitung $> F_0$ standar, maka dapat disimpulkan bahwa proses sterilisasi yang dilakukan telah mencukupi.

Contoh 5:

Dengan menggunakan data penetrasi panas berikut, hitunglah nilai letal rate (LR) untuk proses pemanasan dan nilai F_0 parsialnya pada berbagai suhu, dimana diketahui nilai $D=0.25$ menit dan $Z=10^\circ\text{C}$ dan suhu referensi (T_{ref}) 121.1°C (250°F). Hitunglah nilai F_0 total dan bandingkan dengan nilai F_0 standar, apakah proses sterilisasi telah mencukupi?

Waktu (menit)	Suhu Produk (°C)	Waktu (menit)	Suhu Produk (°C)
0	85	13	115
1	90	14	110
2	95	15	105
3	100	16	100
4	105	17	90
5	110	18	85
6	115	19	80
7	118	20	70
8	120	21	65
9	120.5	22	60
10	120.7	23	55
11	121	24	50
12	121		

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan (1), maka diperoleh nilai letal rate (LR) untuk masing-masing suhu dapat dilihat pada tabel berikut. Nilai Letalitas untuk selang waktu tertentu dihitung dengan menggunakan persamaan (3). Dari tabel berikut ini, terlihat bahwa nilai letalitas pada suhu <90°C terlalu kecil, sehingga kontribusinya terhadap pembunuhan mikroba bisa diabaikan. Nilai Fo total dihitung dengan menggunakan persamaan (6), yaitu dari penjumlahan nilai letalitas.

Waktu (menit)	Suhu Produk (°C)	Nilai LR	Nilai Letalitas (L, menit)	Waktu (menit)	Suhu Produk (°C)	Nilai LR	Nilai Letalitas (L, menit)
0	85	0.000246		13	115	0.2454709	0.6113541
1	90	0.0007762	0.0005108	14	110	0.0776247	0.1615478
2	95	0.0024547	0.0016155	15	105	0.0245471	0.0510859
3	100	0.0077625	0.0051086	16	100	0.0077625	0.0161548
4	105	0.0245471	0.0161548	17	90	0.0007762	0.0042694
5	110	0.0776247	0.0510859	18	85	0.0002455	0.0005109
6	115	0.2454709	0.1615478	19	80	0.0000776	0.0001616
7	118	0.4897788	0.3676249	20	70	0.0000078	0.0000427
8	120	0.7762471	0.6330130	21	65	0.0000025	0.0000052
9	120.5	0.8709636	0.8236054	22	60	0.0000008	0.0000017
10	120.7	0.9120108	0.8914872	23	55	0.0000002	0.0000005
11	121	0.9772372	0.9446240	24	50	0.0000001	0.0000002
12	121	0.9772372	0.9772372	Nilai Fo (menit) : ΣLetalitas			5.7187494

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh nilai Fo total adalah 5.72 menit. Diketahui nilai Fo standar adalah: $F_0 = 12 \times 0.25 = 3$ menit. Karena Fo hitung > Fo standar, maka proses sterilisasi yang dilakukan telah mencukupi.

Rangkuman

1. Nilai letal rate (LR) adalah efek letalitas pada suhu tertentu dibandingkan dengan suhu standar. Nilai sterilitas suatu proses sterilisasi dapat dihitung dengan mengkonversikan waktu proses pada suhu-suhu tertentu ke waktu ekuivalen pada suhu standar yang umum, misalnya 250°F atau 121.1°C untuk proses sterilisasi. Nilai letalitas dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$LR = 10^{\frac{(T-T_{ref})}{Z}}$$

Bila pemanasan dilakukan pada suhu standar (250°F), maka nilai LR=1. Bila pemanasan dilakukan pada suhu >250°F, maka nilai LR > 1, sedangkan bila suhu < 250°F, maka nilai LR < 1.

2. Waktu proses pada suhu lain dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$F_T = \frac{1}{LR_T} \times SD_o = \frac{1}{LR_T} F_o$$

3. Metode trapesium adalah metode untuk menghitung nilai unit sterilisasi dari data penetrasi panas. Luasan total dari trapesium menunjukkan nilai sterilisasi (F_o) dari proses, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_o = \int_0^t (LR) dt$$

atau:

$$F_o = \sum \left(\frac{LR_n + LR_{n-1}}{2} \right) \Delta t$$

4. Kecukupan proses panas ditentukan dengan membandingkan nilai F_o hitung dengan nilai F_o standar. Bila nilai F_o hitung $\geq F_o$, maka proses termal mencukupi, sedangkan bila nilai F_o hitung $< F_o$, maka proses termal tidak mencukupi (*under process*). Bila nilai F_o hitung terlalu besar dibandingkan standar, maka proses termal tersebut adalah *over process* (berlebihan).

Daftar Pustaka

- Holdsworth, S.D. 1997. Thermal Processing of Packaged Foods. Blackie Academic & Professional, London.
- Singh, R.P. and Heldman, D.R. 2001. Introduction to Food Engineering. 3rd ed, Academic Press, San Diego, CA.
- Toledo, R.T. 1991. Fundamentals of Food Process Engineering. Van Nostrand Reinhold, New York.