

# PROSES TERMAL

Purwiyatno Hariyadi  
[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

11/10/2015

## PROSES TERMAL

- .....> pengawetan makanan
- .....> populer

### Kenapa???

- ☞ membunuh mikroba
- ☞ inaktivasi enzim
- ☞ menyebabkan perubahan warna, tekstur, flavor
- ☞ menyebabkan perubahan daya cerna makanan
- ☞ awet

11/10/2015

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

## PROSES TERMAL : APLIKASI DI INDUSTRI PANGAN

- pemasakan/*cooking*
- penghangatan kembali/*rearming*
- pelelehan/*thawing*
- blansir/*blanching*
- pasteurisasi
- sterilisasi

11/10/2015

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PROSES TERMAL : STERILISASI

Proses termal yang dilakukan pada suhu tinggi,  $>100^{\circ}\text{C}$ , dengan tujuan memusnahkan spora patogen dan pembusuk

"Pengalengan" makanan : .....> Makanan dalam kaleng

- *trouble free*
- awet/tahan lama

### STERILITAS KOMERSIAL

- Kondisi dimana telah tercapai pemusnahan
  - semua m.o. patogen dan pembentuk racun
  - m.o yang dalam kondisi penyimpanan dan penanganan normal dapat menyebabkan kebusukan
- Produk steril komersial mungkin masih mengandung "*viable spores*", tetapi tidak dapat tumbuh pada kondisi penyimpanan dan penanganan normal

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PROSES TERMAL : STERILISASI

- Harus tahu kombinasi suhu-waktu yang diperlukan untuk memusnahkan "*the most heat resistant pathogen and/or spoilage organism in the product of interest*".

Perlu pengetahuan tentang kinetika

- pemusnahan mikroba
- kerusakan mutu

- Harus tahu karakteristik penetrasi panas produk yang dipanaskan

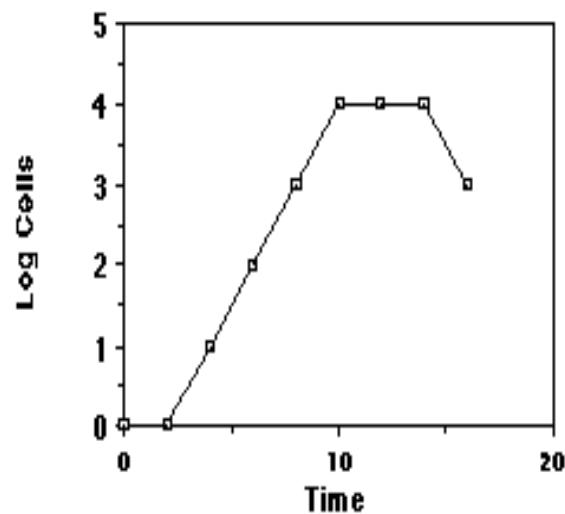
Perlu pengetahuan ttg pindah panas

- pindah panas tak tunak
- sifat termal

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

### KINETIKA

#### 1. Pertumbuhan mikroorganisme



[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

### Factors Affecting the Growth of Some Foodborne Pathogens

Organism	Growth Temp °C	Growth pH	Growth $a_w$
<u>Salmonella spp.</u>	6.5 - 47	4.5 - ?	>0.95 <sup>(a)</sup>
<u>Clostridium botulinum</u>			
A & B	10 - 50	4.7 - 9	>0.93
nonproteolytic B	5 - ?	<sup>(b)</sup>	NR <sup>(c)</sup>
E	3.3 - 15-30	<sup>(b)</sup>	>0.965
F	4 - ?	<sup>(b)</sup>	NR <sup>(c)</sup>
<u>Staphylococcus aureus</u>	7 - 45	4.2 - 9.3	>0.86
<u>Campylobacter jejuni</u>	25 - 42	5.5 - 8	NR
<u>Yersinia enterocolitica</u>	1 - 44	4.4 - 9	NR
<u>Y. pseudotuberculosis</u>	5 - 43	<sup>(b)</sup>	NR
<u>Listeria monocytogenes</u>	2 - 45	4.8 - 9.6	>0.95 <sup>(d)</sup>

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### Factors Affecting the Growth of Some Foodborne Pathogens

Organism	Growth Temp °C	Growth pH	Growth $a_w$
<u>Vibrio cholerae O1</u>	8 - 42	6 - 9.6	>0.95
<u>Vibrio parahaemolyticus</u>	12.8 - 40	5 - 9.6	> .94
<u>Clostridium perfringens</u>	6 - 52	5.5 - 8	> .93
<u>Bacillus cereus</u>	10 - 49	4.9 - 9.3	> .95
<u>Escherichia coli</u>	2.5 - 45	4.6 - 9.5	> .935
<u>Streptococcus pyogenes</u>	> 10 - < 45	4.8 - < 9.2	NR

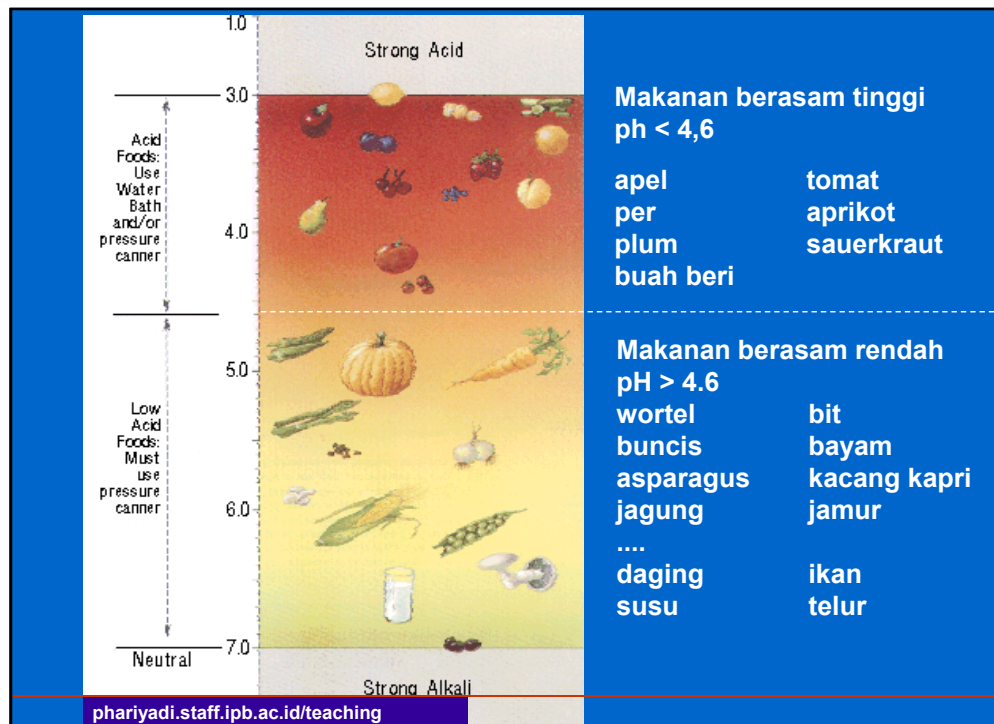
<sup>(a)</sup> For a genus as large as Salmonella, the  $a_w$  lower limit for species growth may vary, e.g., *S. newport*=0.941, *S. typhimurium*=0.945.

<sup>(b)</sup> The value, though unreported, is probably close to other species of the genus.

<sup>(c)</sup> NR denotes that no reported value could be found, but for most vegetative cells, an  $a_w$  of >0.95 would be expected.

<sup>(d)</sup> Minimum  $a_w$  unknown.

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



## KINETIKA

### 2. Pemusnahan m.o oleh panas

.....> pada T konstan

.....> penurunan jumlah mikroba hidup mengikuti reaksi ordo I

$$-\frac{dN}{dt} = kN$$

dimana,

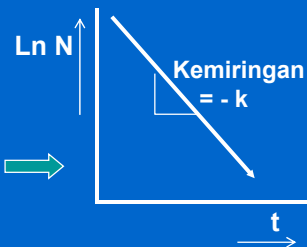
N= jumlah mikroba hidup

k = konstanta laju reaksi (konstanta laju pemusnahan m.o.)

$$\frac{dN}{N} = -kdt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln \left( \frac{N}{N_0} \right) = -kt \Rightarrow \ln N = \ln N_0 - kt$$



*Microbial death, like microbial growth, is described by a logarithmic equation.*

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**KINETIKA**

Ingat !

$$\ln X = 2.303 \log X$$

$$\ln \left( \frac{N}{N_0} \right) = -kt \quad \Rightarrow \quad 2.303 \log \left( \frac{N}{N_0} \right) = -kt \quad \Rightarrow \quad \log N = \log N_0 - \frac{k}{2.303} t$$

Oleh para ahli teknologi pangan (termobakteriologi), persamaan tsb dinyatakan sebagai :

$$\log N = \log N_0 - \frac{t}{D} \quad \text{atau} \quad \log \left( \frac{N}{N_0} \right) = \frac{-t}{D}$$

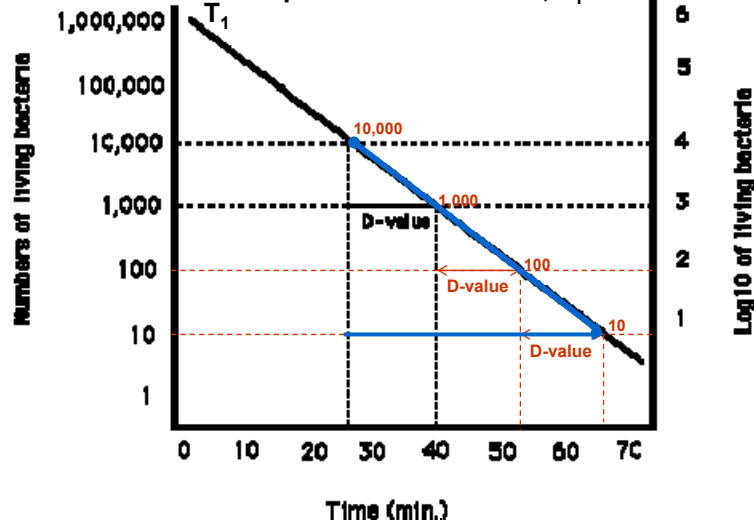
**D = Decimal Reduction Time**

- = waktu yg diperlukan ul mengurangi jml mo dengan faktor 1 desimal
- = waktu yg diperlukan ul mengurangi jml mo sebanyak 1 siklus log
- = waktu yg diperlukan ul mengurangi jml mo sebanyak 90% populasi

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**KINETIKA**

Kurva Kematian Termal pada Suhu Konstant,  $T_1$



phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### Comparative Heat Resistance (*D* Values) for Different Classifications of Foodborne Bacteria

Bacterial groups	Approximate heat resistance
Low-acid and semi acid foods (pH above 4.5)	
Thermophiles	$D_{250}$
Flat-sour group ( <i>B. stearothermophilus</i> )	4.0 - 5.0
Gaseous-spoilage group ( <i>C. thermosaccharolyticum</i> )	3.0 - 4.0
Sulfide stinkers ( <i>C. nigrificans</i> )	
Mesophiles	2.0 - 3.0
Putrefactive anaerobes	
<i>C. botulinum</i> (types A dan B)	0.10 - 0.20
<i>C. sporogenes</i> group (including P.A. 3679)	0.10 - 1.5

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### Comparative Heat Resistance (*D* Values) for Different Classifications of Foodborne Bacteria

Bacterial groups	Approximate heat resistance
Acid foods (pH 4.0-4.5)	
Thermophiles	
<i>B. coagulans</i> (facultative mesophilic)	0.01 - 0.07
Mesophiles	$D_{212}$
<i>B. polymyxa</i> and <i>B. macerans</i>	0.10 - 0.50
Butyric anaerobes ( <i>C. pasteurianum</i> )	0.10 - 0.50
High-acid foods	
Mesophilic non-spore-bearing bacteria	$D_{150}$
Lactobacillus spp, Leuconostoc spp., and yeast and mold	0.50 - 1.00

Source: Stumbo (1965)

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### Comparison of $D_{250}$ Values for Specific Organisms in Selected Food Substrates

Organism	Substrate	TDT Procedure	$D_{250}$
P.A. 3679	Cream-style corn	Can	2.47
P.A. 3679	Whole-kernel corn (1)	Can	1.52
P.A. 3679	Whole-kernel corn (2)	Can	1.82
P.A. 3679	Phosphate buffer	Tube	1.31
F.S. 5010	Cream-style corn	Can	1.14
F.S. 5010	Whole-kernel corn	Can	1.35
F.S. 1518	Phosphate buffer	Tube	3.01
F.S. 617	Whole milk	Can	0.84
F.S. 617	Evaporated milk	Tube	1.05

Source: Stumbo (1965)

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

#### KINETIKA .....> Contoh 1

Anggap suatu makanan dalam kaleng.

Jika jumlah mo awal sebesar  $10^6$  mikroba pembusuk A/kaleng.

Nilai D pada suhu  $121.1^\circ\text{C} = 15$  detik.

Berapa jumlah mo setelah pemanasan selama 1 menit pada  $121.1^\circ\text{C}$

Berapa jumlah mo setelah pemanasan selama 2 menit pada  $121.1^\circ\text{C}$

Jawab :

Ingat .....>  $\log N = \log N_0 - \frac{t}{D}$

Untuk  $t = 1$  menit :

$$\log N = \log 10^6 - \frac{60 \text{ detik}}{15 \text{ detik}}$$

$$\log N = 6 - 4 = 2$$

$$N = 10^2 = 100$$

Untuk  $t = 2$  menit :

$$\log N = \log 10^6 - \frac{120 \text{ detik}}{15 \text{ detik}}$$

$$\log N = 6 - 8 = -2$$

$$N = 10^{-2} = 0.01 \rightarrow \text{Peluang kebusukan!!}$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



## KINETIKA .....&gt; Contoh 2

Suatu suspensi pangan mempunyai kandungan spora pembusuk A dan B. Spora A sebanyak  $3 \times 10^5$  dan spora B sebanyak  $8 \times 10^6$ . Pada suhu  $121.1^\circ\text{C}$ , nilai D untuk spora A dan spora B adalah 1.5 dan 0.8 menit. Jika suspensi tsb dipanaskan pada suhu konstan  $121.1^\circ\text{C}$ , berapa lama untuk memperoleh peluang kebusukan sebesar  $10^{-3}$ .

Jawab :  $\log N = \log N_0 - \frac{t}{D} \quad \longrightarrow \quad t = -D \log \left( \frac{N}{N_0} \right)$

Peluang kebusukan  $10^{-3}$ ; artinya  $N = 10^{-3}$ .

Untuk spora A :

$$t = 1.5 \log \left( \frac{3 \times 10^5}{10^{-3}} \right)$$

$$t = 1.5 (8.477) = 12.72 \text{ menit}$$

Untuk spora B :

$$t = 0.8 \log \left( \frac{8 \times 10^6}{10^{-3}} \right)$$

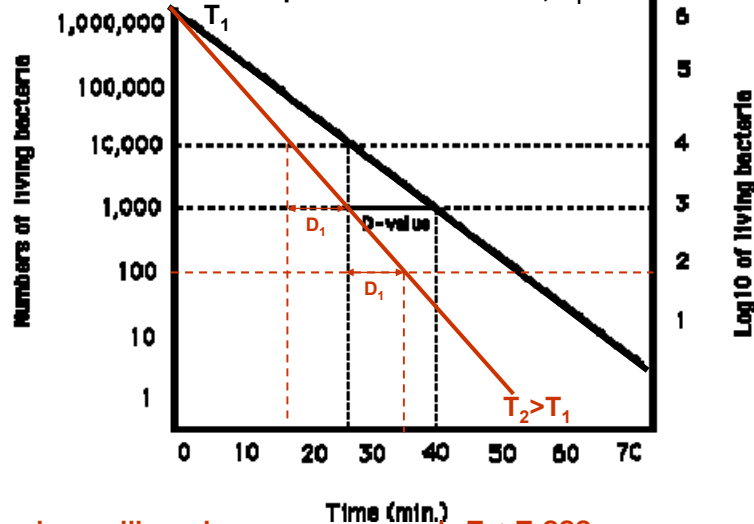
$$t = 0.8 (9.903) = 7.92 \text{ menit}$$

Jadi, untuk mendapatkan peluang kebusukan sebesar  $10^{-3}$ , maka pemanasan  $121.1^\circ\text{C}$  harus dilakukan selama 12.72 menit.

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## KINETIKA

Kurva Kematian Termal pada Suhu Konstant,  $T_1$

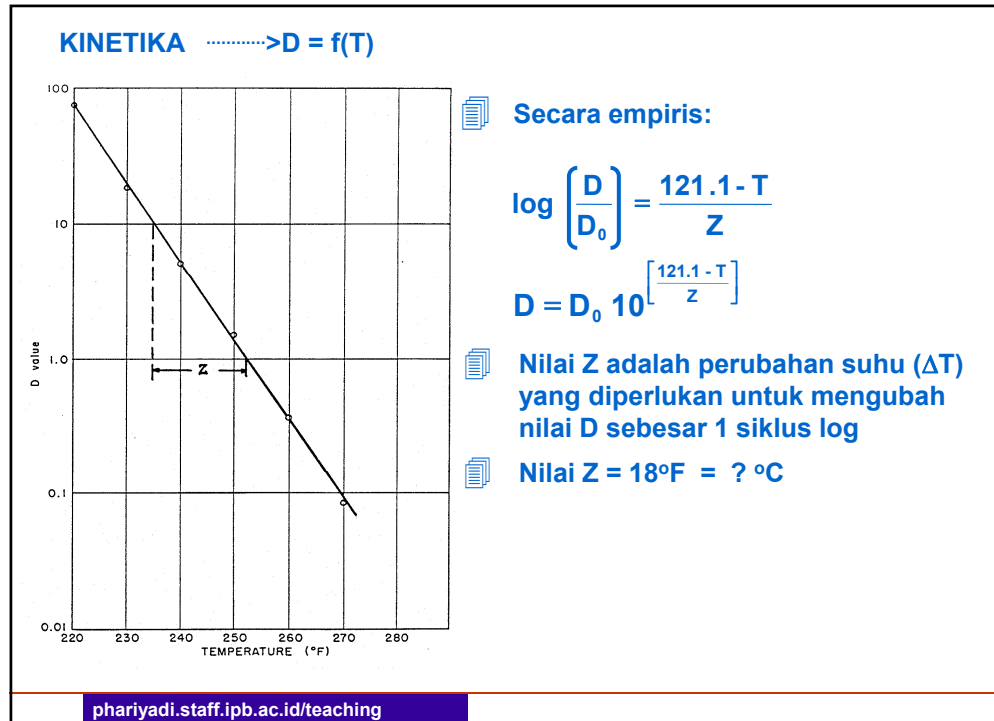


Bagaimana jika suhu pemanasan pada  $T_2 > T_1$ ???

Semakin tinggi  $T$  .....> semakin kecil nilai D

$D=f(T)$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



**KINETIKA** .....>D = f(T)

- Reactions that have small Z values are highly temperature dependent, whereas those with large Z values require larger changes in temperature to reduce the time.
- A Z value of 10°C is typical for a spore forming bacterium
- Heat induced chemical changes have much larger Z values than that microorganisms :

	Z (°C)	D <sub>121</sub> (min)
bacteria	5-10	1-5
enzymes	30-40	1-5
vitamins	20-25	150-200
pigments	40-70	15-50

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**KINETIKA** .....> 2 parameter kinetika

**D dan Z** .....> perlu selalu diketahui dua-duanya!

**Misal**  
 Mikroba A mempunyai  $D_{A,250F} = 0.5$  menit  
 Mikroba B mempunyai  $D_{B,250F} = 1$  menit  
 Apa artinya?

$Z_A = 10^\circ\text{C}$ ;  $Z_B = 20^\circ\text{C}$

Suhu (C)	$D_A$ (menit)	$D_B$ (Menit)
80.1	5000	100
90.1	500	10
101.1	50	10
111.1	5	1
121.1	0.5	1
131.1	0.05	1
141.1	0.005	0.1
151.1	0.0005	0.1
161.1	0.00005	0.01

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**KECUKUPAN PROSES STERILISASI**

Perhitungan kecukupan proses sterilisasi

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{2.303}{D} N \dots\dots\dots \text{Pers. 1}$$

Persamaan ini dapat dipecahkan sebagai berikut:

$$\frac{dN}{N} = -\frac{2.303}{D} dt$$

Integrasi persamaan tersebut dari  $t = 0$  ( $N = N_0$ ) sampai  $t = t$  ( $N = N$ ) adalah sbb:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \frac{2.303}{D} dt = -2.303 \int_0^t \frac{dt}{D} \dots\dots\dots \text{Pers. 2}$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## KECUKUPAN PROSES STERILISASI

Sisi kiri dari persamaan 2 dapat dipecahkan sebagai berikut:

$$\ln \left( \frac{N}{N_0} \right) = -2.303 \int_0^t \frac{dt}{D}$$

atau

$$\log \left( \frac{N}{N_0} \right) = - \int_0^t \frac{dt}{D} \dots\dots\dots \text{Pers. 3}$$

Ingat kembali  $D = f(T) \Rightarrow D = D_0 \cdot 10^{\left[ \frac{121.1 - T}{z} \right]}$

Jadi

$$\log \left( \frac{N}{N_0} \right) = - \int_0^t \frac{dt}{D_0 \cdot 10^{\left[ \frac{121.1 - T}{z} \right]}}$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## KECUKUPAN PROSES STERILISASI

### NILAI STERILITAS/LETALITAS PROSES

S = Jml penurunan desimal =  $\log \left( \frac{N_0}{N} \right) = \int_0^t \frac{dt}{D_0 \cdot 10^{\left[ \frac{121.1 - T}{z} \right]}}$

Jika; proses dilakukan pada suhu konstant (121.1°C), maka

$$S = \log \left( \frac{N}{N_0} \right) = \int_0^t \frac{dt}{D_0 \cdot 10^{\left[ \frac{121.1 - 121.1}{z} \right]}} \quad \rightarrow \quad S = \frac{t}{D_0}$$

Analog :  $S = \frac{F_T}{D_T}$

Waktu proses pada suhu konstan 121.1°C  
 $F_{121.1C} = F_0$   
 $D_{121.1C} = D_0$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## KECUKUPAN PROSES STERILISASI

NILAI STERILITAS YANG UMUM DIGUNAKAN ~ Sterilitas Komersial

- Mikroorganisme kritis = *Clostridium botulinum*
- Konsep 12 desimal (12 D) untuk *C. botulinum*  
(Interpretasi *Regulatory Agency* sekarang:  
12 D  $\Rightarrow$  peluang kebusukan  $10^{-12}$ )

Contoh:

Nilai F pada 121.1°C untuk memusnahkan 99.999% *C. botulinum* adalah 1.2 menit. Hitung  $D_0$ .

Jawab: Pemusnahan 99.999%

$$S = \frac{N_0}{N} = \frac{1}{0.00001} = 5$$

$$D_0 = \frac{F_0}{S} = \frac{1.2}{5} = 0.24 \text{ menit.}$$

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

## KECUKUPAN PROSES STERILISASI

Process Sterilizing Values ( $F_0$ ) for Commercial Sterilization of Selected Canned Foods

Product	Can sizes	Approximate calculated sterilizing value, $F_0$
Asparagus	All	2-4
Green beans, brine packed	No. 2	3.5
	No. 10	3.5
Chicken, boned	All	6-8
Corn, whole kernel, brine packed	No. 2	9
	No. 10	15
Cream style corn	No. 2	5-6
	No. 10	2.3
Dog Food	No. 2	12
	No. 10	6
Mackerel in brine	301x411	2.9-3.6
Meat loaf	No. 2	6
Peas, brine packed	No. 2	7
	No. 10	11
Sausage, Vienna, in brine	Various	5
Chili con carne	Various	6

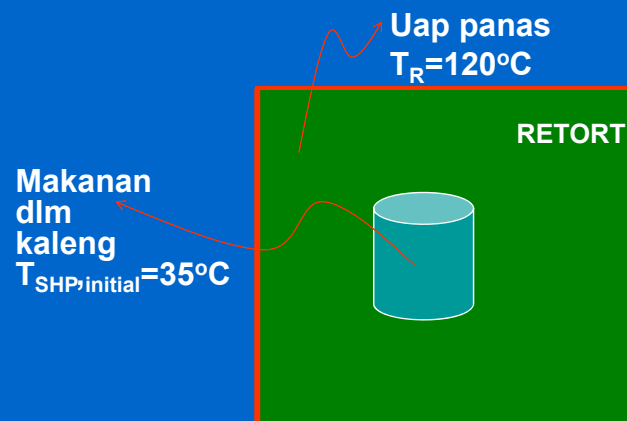
[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

## PENETRASI PANAS PADA KALENG :

Review teori pindah panas *unsteady-state heat transfer*

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

PENETRASI PANAS = *unsteady state Heat Transfer*



Bagaimana perubahan suhu pada SHP?

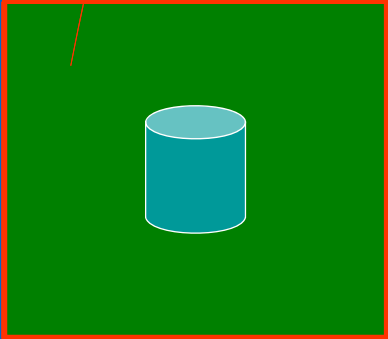
$$T = f(t, r),$$

$$r=0 \cdots \cdots > T_{\text{SHP}} = f(t)$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**PENETRASI PANAS = *unsteady state Heat Transfer***

- Pentingnya tahanan pindah panas internal dan eksternal
- ☞ = dominasi pindah panas konduksi atau konveksi?
- ☞ = Bilangan Biot,  $N_{Bi} = hD/k$



Uap panas  
 $T_R=120^\circ\text{C}$

$$N_{Bi} = \frac{D/k}{1/h}$$

$$N_{Bi} = \frac{\text{Internal resistance to heat transfer}}{\text{External resistant to heat transfer}}$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**PENETRASI PANAS = *unsteady state Heat Transfer***

- Tahanan internal dpt diabaikan  
.....> $N_{Bi} < 0.1$

$$q = \rho V C_p dT/dt = h A (T_R - T)$$

$$\int \frac{dT}{T_R - T} = \int \frac{hA dt}{\rho C_p V} \longrightarrow \left| \ln(T_R - T) \right|_{T_i}^T = \left| \frac{hA dt}{\rho C_p V} \right|_0^t$$

$$\frac{T_R - T}{T_R - T_i} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho C_p V}\right)t}$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### PENETRASI PANAS = *unsteady state Heat Transfer*

- Tahanan eksternal (permukaan) dan tahanan internal tdk dpt diabaikan .....>  $0.1 < N_{Bi} < 40$  .....>  $m = 1/N_{Bi}$
- Tahanan eksternal (permukaan) diabaikan :  
.....>  $N_{Bi} > 40$  .....>  $m = 1/N_{Bi} = 0$

Untuk bentuk lempeng tak terbatas, silinder tak terbatas dan bola : gunakan diagram Gurnie-Lurie dan/atau diagram Heisler

.....> diagram hubungan antara suhu-waktu (T-t)

- Bilangan tak berdimensi : Bil Fourier ( $N_{Fo}$ )

$$N_{Fo} = \frac{kt}{\rho C_p D^2} = \frac{\alpha t}{D^2}$$

D = characteristic dimension

$D_{\text{sphere}}$  = radius

$D_{\text{inf cylinder}}$  = radius

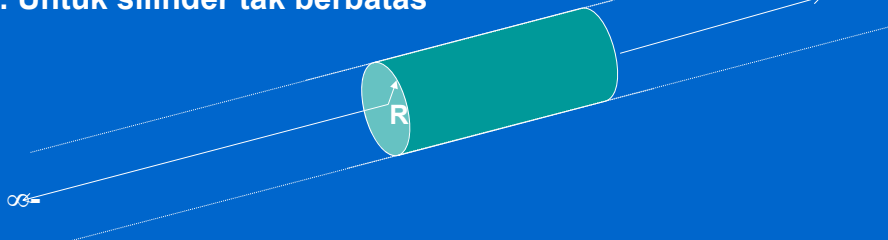
$D_{\text{inf slab}}$  = half thickness

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### PENETRASI PANAS = *unsteady state Heat Transfer*

#### Prosedur penggunaan diagram T-t

##### 1. Untuk silinder tak terbatas



Jika ingin mengetahui suhu pusat (sumbu) silinder setelah pemanasan selama t

- hitung  $N_{Fo}$ , gunakan R sebagai D
- hitung  $N_{Bi}$ , gunakan R sebagai D .....> hitung  $1/N_{Bi} = m = k/hD$
- gunakan diagram untuk silinder tak terbatas, dari  $N_{Fo}$  dan  $N_{Bi}$  cari ratio T

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



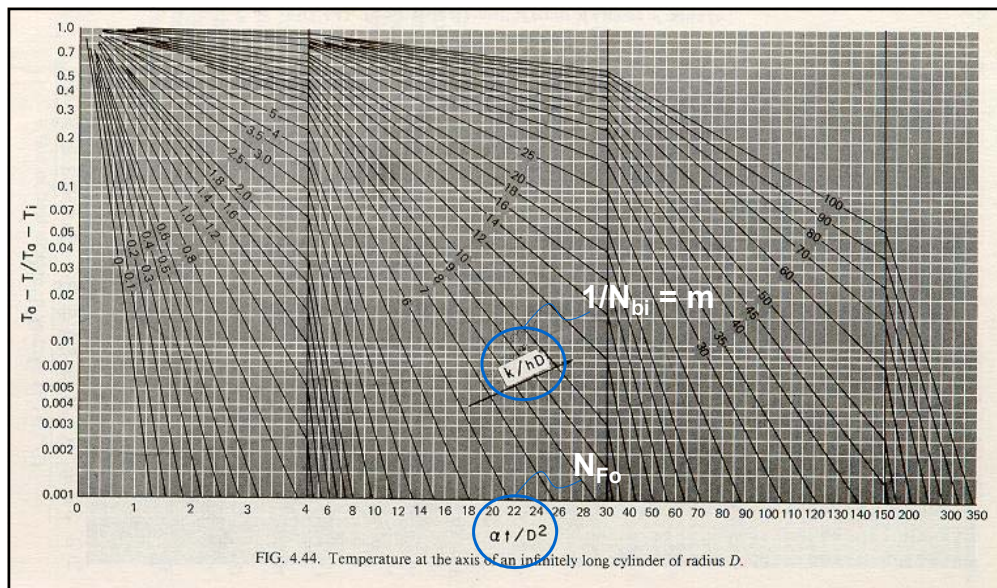
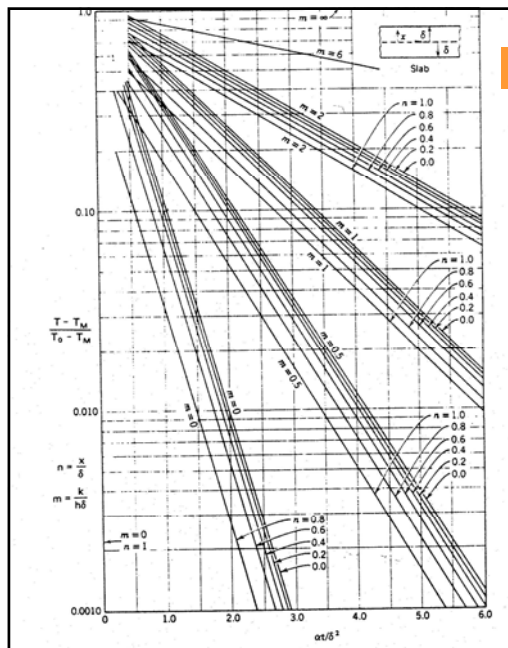


Diagram T-t yang menunjukkan hubungan antara suhu di sumbu silinder dan  $N_{Fo}$

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)



**Diagram Gurnie-Lurie:**

- menentukan suhu setelah pemanasan/pendnginan
  - cari nilai  $N_{Fo} = \alpha t / \delta^2$
  - cari nilai  $N_{bi}$  dan  $m = 1/N_{bi}$
  - tentukan posisi dimana suhu ingin diketahui,  $n = x/\delta$
  - cari ratio suhu

Persamaan penetrasi panas :

$$\frac{T - T_m}{T_i - T_m} = \frac{T_p - T_R}{T_i - T_R} = \exp -(\alpha t / L^2)$$

$$\frac{T_R - T_P}{T_R - T_i} = \exp -(\alpha / L^2) t$$

$$\text{Log}(T_R - T_P) = \text{Log}(T_R - T_i) - \frac{\alpha}{L^2(2,303)} t$$

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)

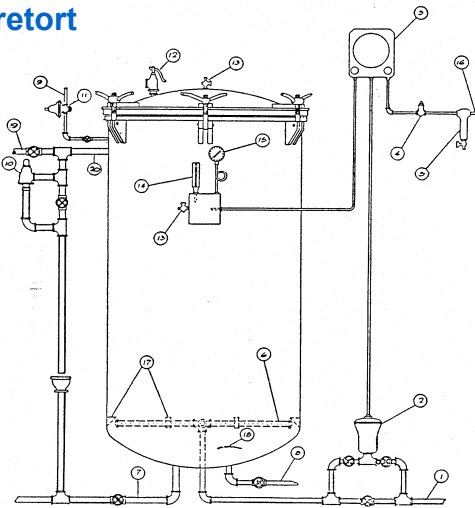
**PENETRASI PANAS**

**Pemanasan kaleng dalam retort**

- Prosedur venting
- Come up time

↓

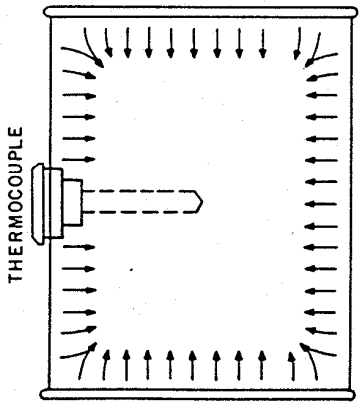
$T_R = f(t)$



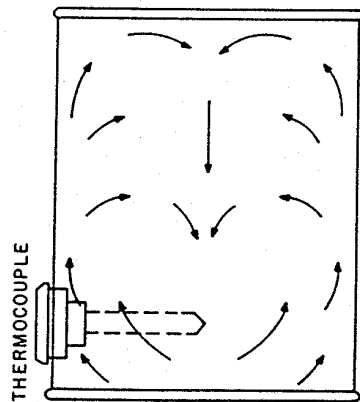
**PENETRASI PANAS**

**$T_p$  diukur pada titik terdingin pada kaleng :**

**- posisi SHP/CP**

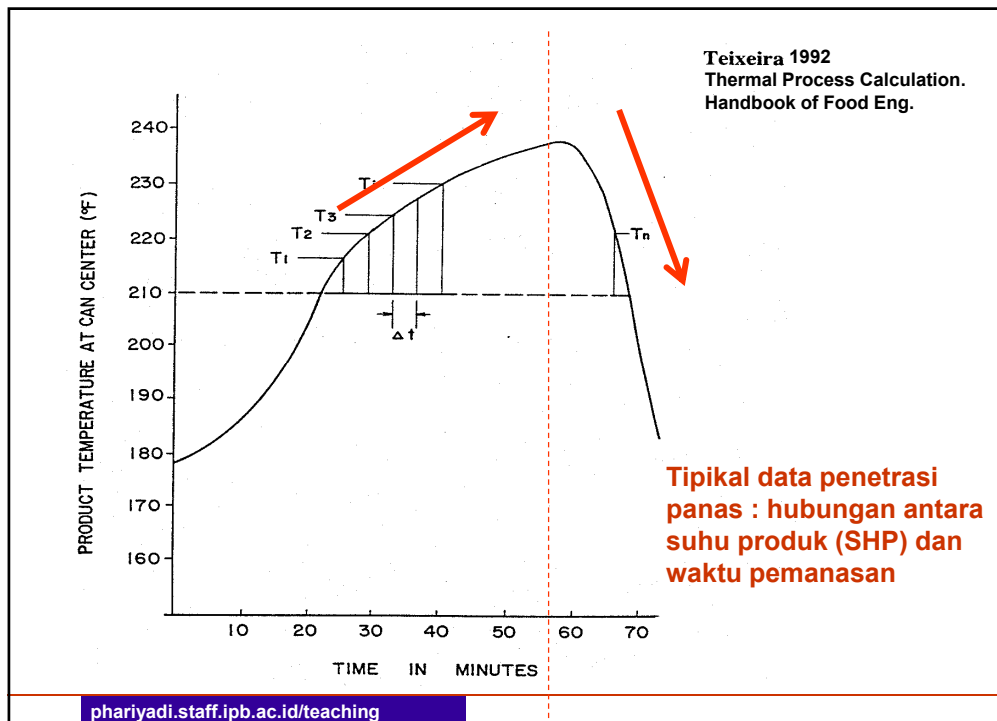
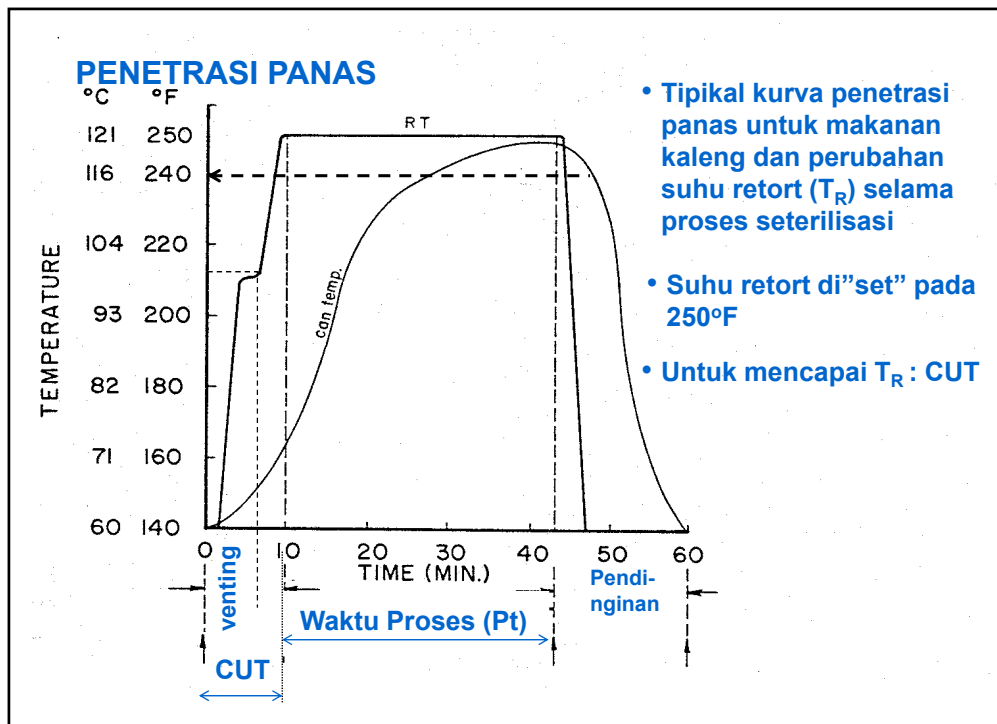


CONDUCTION HEATING



CONVECTION HEATING

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)



## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

### 1. Metoda Umum (grafik)

$$\log \left( \frac{N}{N_0} \right) = - \int_0^t \frac{dt}{D_0 \cdot 10^{\left[ \frac{121.1-T}{z} \right]}}$$

$$D_0 \log \left( \frac{N_0}{N} \right) = \int_0^t \frac{dt}{10^{\left[ \frac{121.1-T}{z} \right]}}$$

- Waktu proses yang harus dicapai untuk memperoleh tingkat sterilitas S
- Nilai  $F_0$
- Ditentukan sebelum proses (by design)

- Perlakuan pemanasan harus cukup
- integrasi dari awal pemanasan sampai pendinginan harus memberikan nilai F yang dikehendaki
- $T=f(t)$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

### 1. Metoda Umum

$$F_0 = D_0 \log \left( \frac{N_0}{N} \right) = \int_0^t \frac{dt}{10^{\left[ \frac{121.1-T}{z} \right]}}$$

$$F_0 = D_0 \log \left( \frac{N_0}{N} \right) = \int_0^t (LR) dt$$

$$LR = LV = \frac{1}{10^{\frac{121.1-T(t)}{z}}} = 10^{\frac{T(t)-121.1}{z}}$$

Apa itu LR??

Pada  $T=121.1^\circ\text{C}$  .....> LR=1

Pada  $T>121.1^\circ\text{C}$  .....> LR>1

Pada  $T<121.1^\circ\text{C}$  .....> LR<1

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

$$LR = LV = \frac{1}{10^{\frac{121.1 - T(t)}{z}}} = 10^{\frac{T(t) - 121.1}{z}}$$

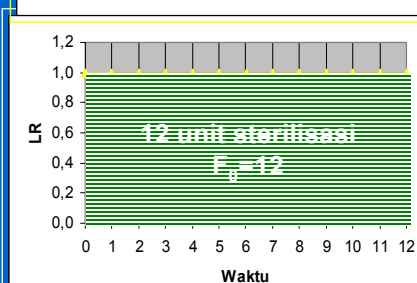
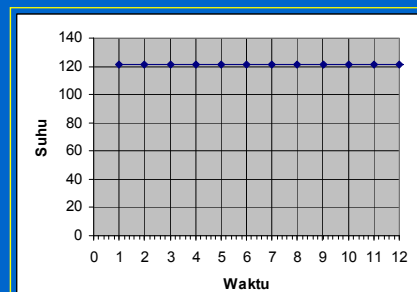
T(°C)	T(°F)	LR(z=10°C)
90	194	0,000776247
95	203	0,002454709
100	212	0,007762471
105	221	0,024547089
110	230	0,077624712
115	239	0,245470892
120	248	0,776247117
121,1	250	1,000000000
125	257	2,454708916
129	264	6,165950019

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

Pemanasan pada suhu konstant,  
121,1°C

t, min	T(°C)	LR(z=10°C)
0	121,1	1,0
1	121,1	1,0
2	121,1	1,0
3	121,1	1,0
4	121,1	1,0
5	121,1	1,0
6	121,1	1,0
7	121,1	1,0
8	121,1	1,0
9	121,1	1,0
10	121,1	1,0
11	121,1	1,0
12	121,1	1,0

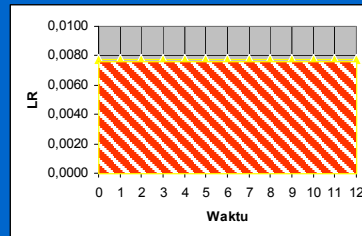


phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

Pemanasan pada suhu konstant,  
100°C

t, min	T(°C)	LR(z=10°C)
0	100	0,007762471
1	100	0,007762471
2	100	0,007762471
3	100	0,007762471
4	100	0,007762471
5	100	0,007762471
6	100	0,007762471
7	100	0,007762471
8	100	0,007762471
9	100	0,007762471
10	100	0,007762471
11	100	0,007762471
12	100	0,007762471



Total sterilitas =  $0.007762 \times 12$  unit  
= 0.10091 unit

hanya  
0.00776 x pengaruh letal pada 121.1°C

Total letalitas =  $F_0 = ??$

$$F_0 = D_0 \log \left( \frac{N_0}{N} \right) = \int_0^t (LR) dt$$

$$F_0 = LR \cdot t$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## PERHITUNGAN KECUKUPAN PROSES STERILISASI

Diketahui : Mikroba A;  $D_0 = 0,21$  menit  
dikehendaki proses 1 D

Pemanasan pada suhu 121.1°C .....>  $12(0,21)=2.52$  menit

Pemanasan pada suhu 100°C

$$\text{.....} > 1/LR_{100C} \times 2.52 \text{ min} = 1/0.00776 \times 2.52 = 324.7 \text{ min (5.4 jam)}$$

Pemanasan pada suhu 129°C

$$\text{.....} > 1/LR_{129C} \times 2.52 \text{ min} = 1/6,166 \times 2.52 = 0.408 \text{ min (24.5 detik)}$$

Pemanasan pada suhu 50°C

$$\begin{aligned} \text{.....} > 1/LR_{50C} \times 2.52 \text{ min} &= 1/0.00000078 \times 2.52 \\ &= 32307692.31 \text{ menit} \\ &= 747.8 \text{ bulan?????!!!!} \end{aligned}$$

**Pada prakteknya :**

- efek letal panas, umumnya mulai dianggap nyata setelah  $T > 90^\circ\text{C}$   
Teixeira (1992) : no appreciable lethality at  $T < 210^\circ\text{F}(99^\circ\text{C})$
- suhu produk selama pemanasan tidak konstant .....>  $T=f(t)$
- Pemanasan produk dilakukan dalam retort .....> umum!
- suhu produk diukur pada SHP/CP

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**Misal :**

t, min	T(°C)	LR(z=10°C)
0	90	0,000776247
4	105	0,024547089
8	120	0,776247117
12	121	0,977237221
16	100	0,007762471
20	70	0,000007762
24	60	0,000000776

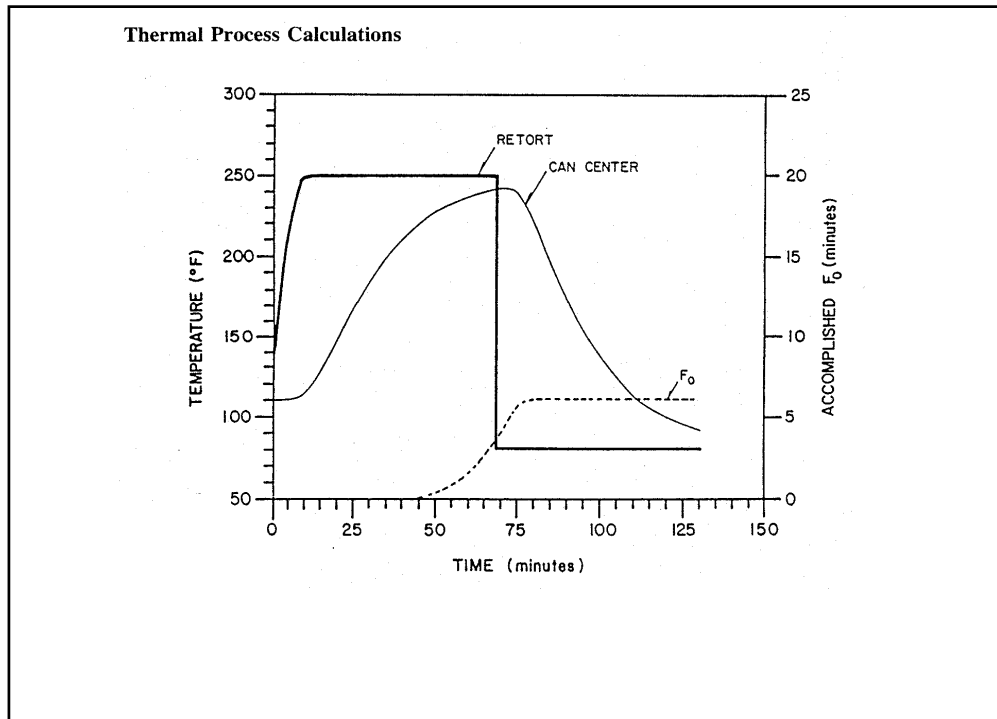
$$F_0 = D_0 \log \left[ \frac{N_0}{N} \right] = \int_0^t (LR) dt$$

F<sub>0</sub> = luas area dibawah kurva hubungan antara LR dan t  
 F<sub>0</sub> = jumlah area trapesium

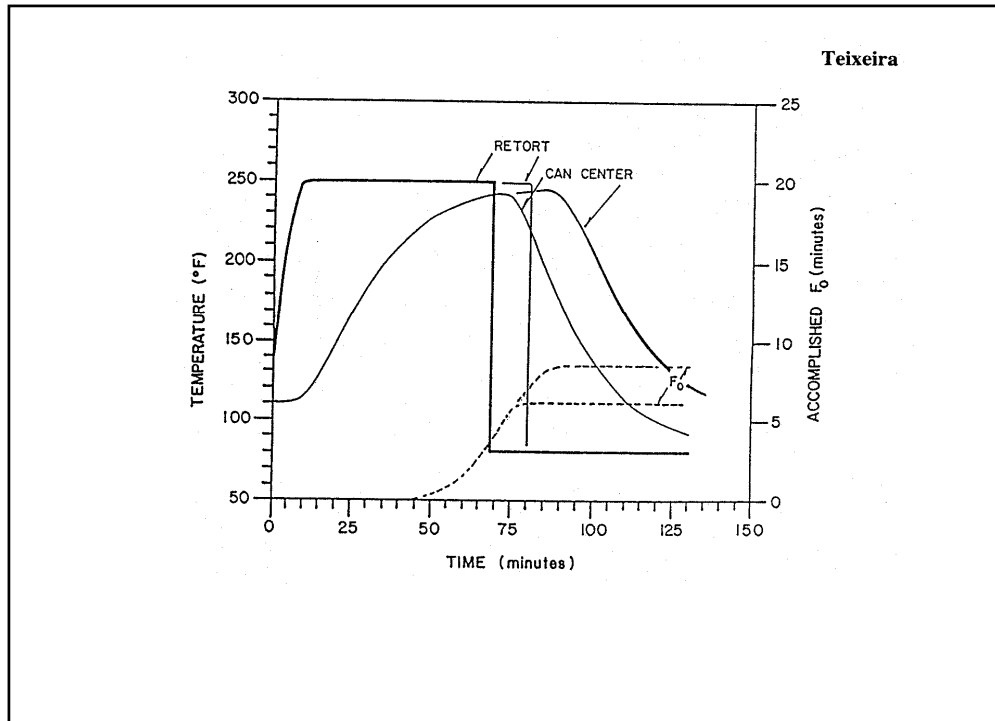
Luas trapesium =  $\left( \frac{LR_1 + LR_2}{2} \right) \Delta t$

$$A = \left( \frac{0.776 + 0.977}{2} \right) (12 - 8) = 3.506$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



## Proses Panas



## 2. Metoda Formula

Persamaan perubahan suhu selama proses pemanasan :

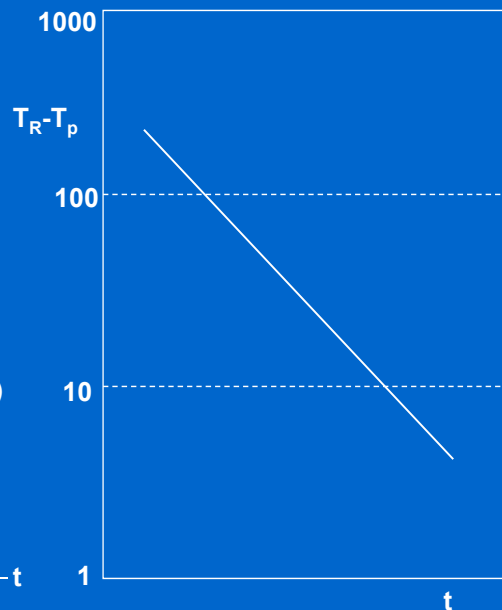
$$\frac{T - T_R}{T_i - T_R} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho C_p V}\right)t} = e^{-kt}$$



$$\frac{T - T_m}{T_i - T_m} = \frac{T_p - T_R}{T_i - T_R} = \exp(-\alpha t/L^2)$$

$$\frac{T_R - T_p}{T_R - T_i} = \exp-(k)t$$

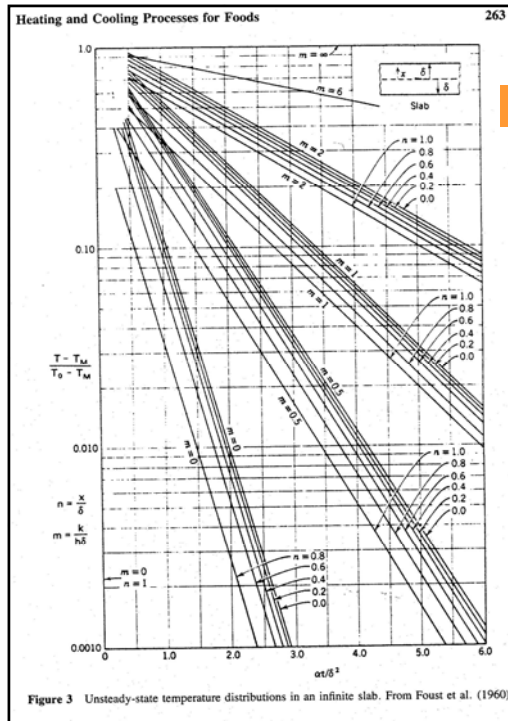
$$\text{Log}(T_R - T_p) = \text{Log}(T_R - T_i) - \frac{k}{(2,303)} t$$



[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)



## Proses Panas



## Diagram Gurnie-Lurie:

1. menentukan suhu setelah pemanasan/pendnginan

- cari nilai  $N_{Fo} = \alpha t / \delta^2$
- cari nilai  $N_{bi}$  dan  $m = 1/N_{bi}$
- tentukan posisi dimana suhu ingin diketahui,  $n = x/\delta$
- cari ratio suhu

Persamaan penetrasi panas :

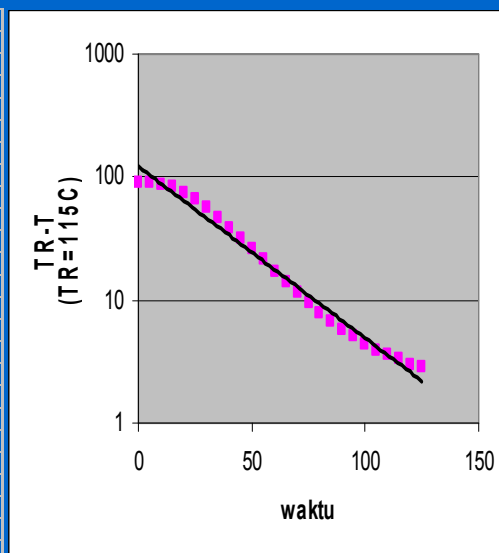
$$\frac{T - T_m}{T_i - T_m} = \frac{T_p - T_R}{T_i - T_R} = \exp -(\alpha/L^2)t$$

$$\frac{T_R - T_P}{T_R - T_i} = \exp -(\alpha/L^2)t$$

$$\text{Log}(T_R - T_P) = \text{Log}(T_R - T_i) - \frac{\alpha}{L^2(2,303)} t$$

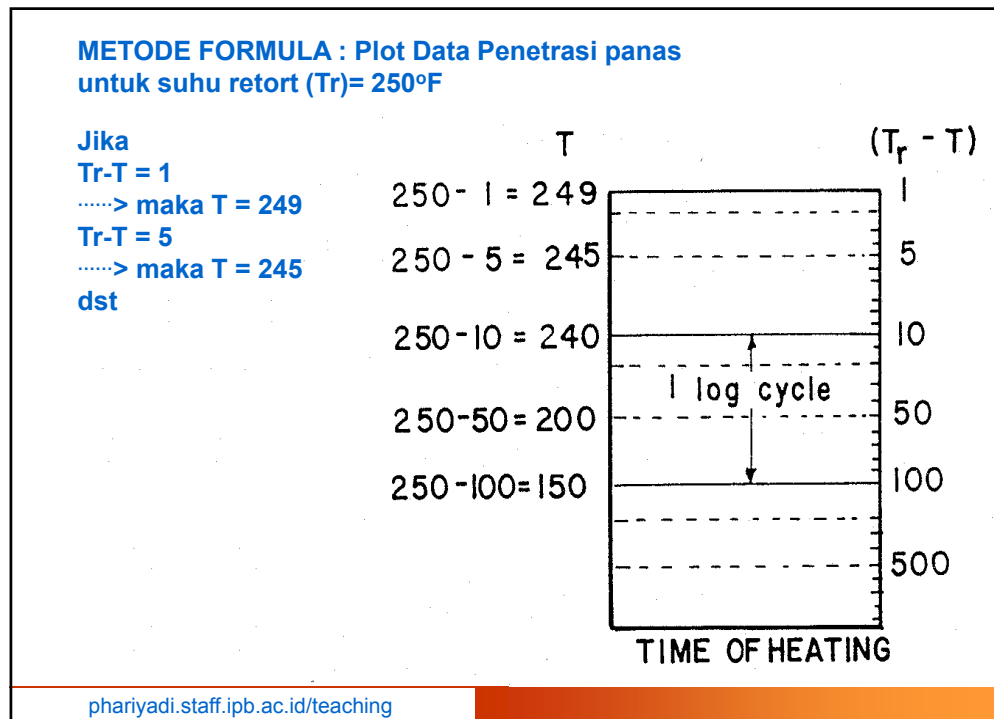
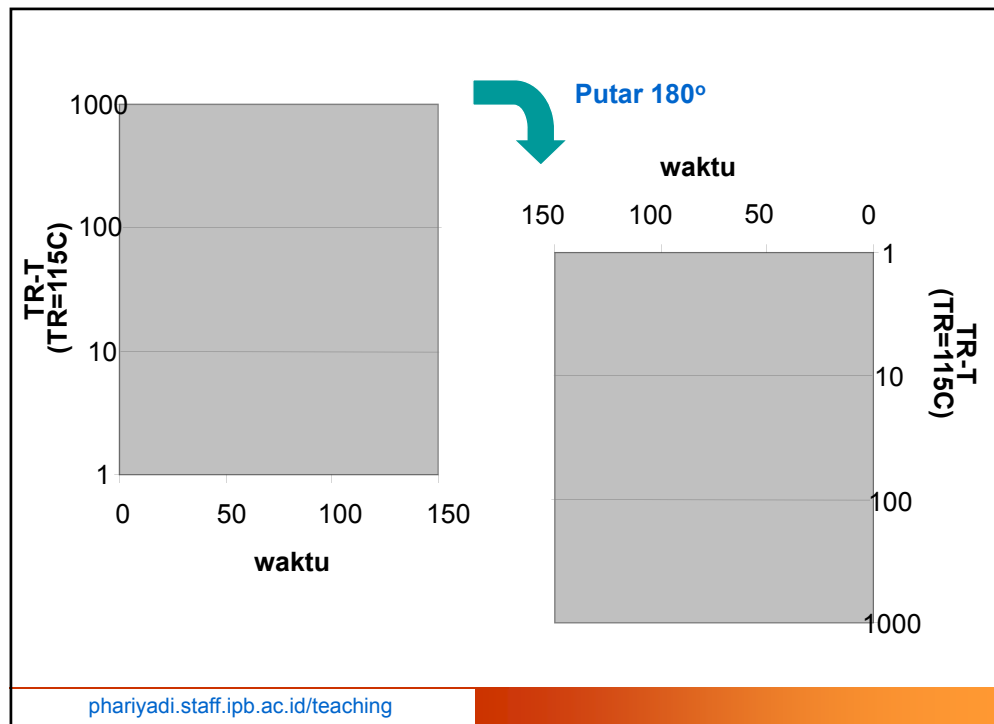
## Contoh :

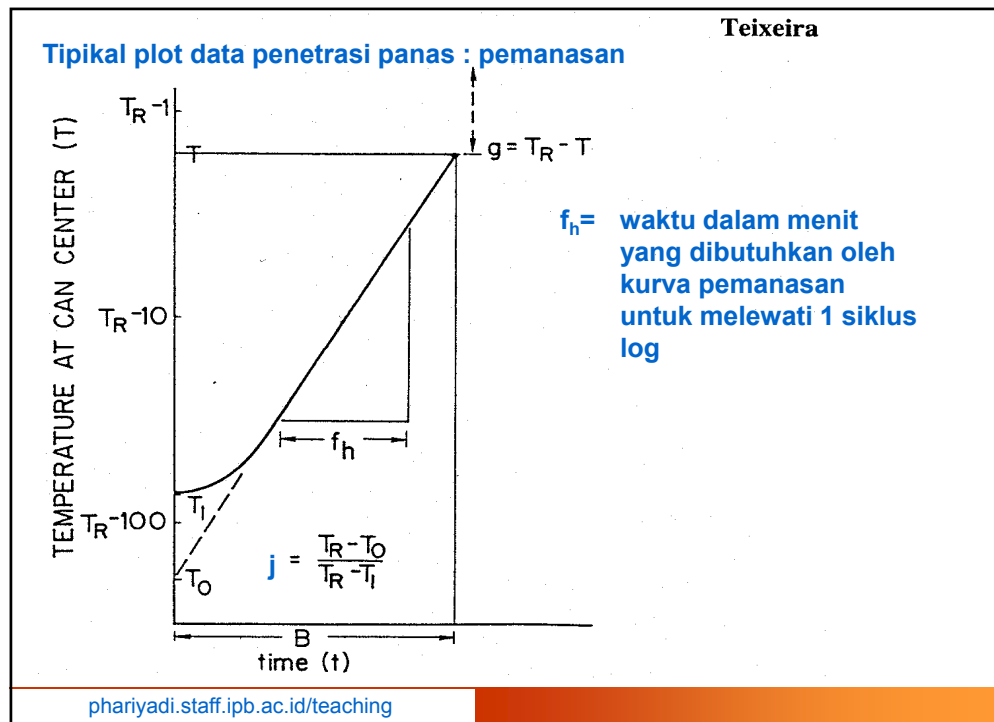
waktu	suhu	TR-T
0	25	90
5	25,6	89,4
10	28,1	86,9
15	32,8	82,2
20	39,6	75,4
25	48,7	66,3
30	58,1	56,9
35	67,7	47,3
40	75,9	39,1
45	82,9	32,1
50	88,8	26,2
55	93,8	21,2
60	97,8	17,2
65	101,2	13,8
70	103,6	11,4
75	105,4	9,6
80	107,1	7,9
85	108,2	6,8
90	109,2	5,8
95	109,9	5,1
100	110,6	4,4
105	111,1	3,9
110	111,4	3,6
115	111,7	3,3
120	112	3
125	112,2	2,8



phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

## Proses Panas





### Istilah/notasi pada proses termal :

- CUT :** come up time yaitu waktu dari mulai uap dinyalakan sampai retort mencapai suhu proses.
- Pt :** waktu proses yang dihitung oleh operator retort (*operator processing time*), dihitung sejak termometer utama menunjukkan suhu retort yang dikehendaki sampai mulai proses pendinginan)
- B :** waktu proses Ball;  $B = Pt + 0.42 \text{ CUT}$
- $T_R$  :** suhu retort yang di "set" dan dipertahankan pada saat proses termal
- $f_h$  :** waktu dalam menit yang dibutuhkan kurva pemanasan untuk melewati satu siklus
- j :** faktor "lag", sebelum kurva pemanasan menjadi lurus, atau  $j = j_l/l$
- $j_l$  :** Perbedaan suhu retort ( $T_R$ ) dan suhu awal semu diambil pada titik potong kurva pemanasan dengan waktu 0 menit yang sebenarnya (waktu 0 menit ini besarnya sama dengan  $0.58 \times \text{CUT}$ )

### Istilah/notasi pada proses termal :

$g$  : perbedaan suhu retort dengan produk di dalam kaleng pada akhir proses termal

$T_i$  : suhu awal produ

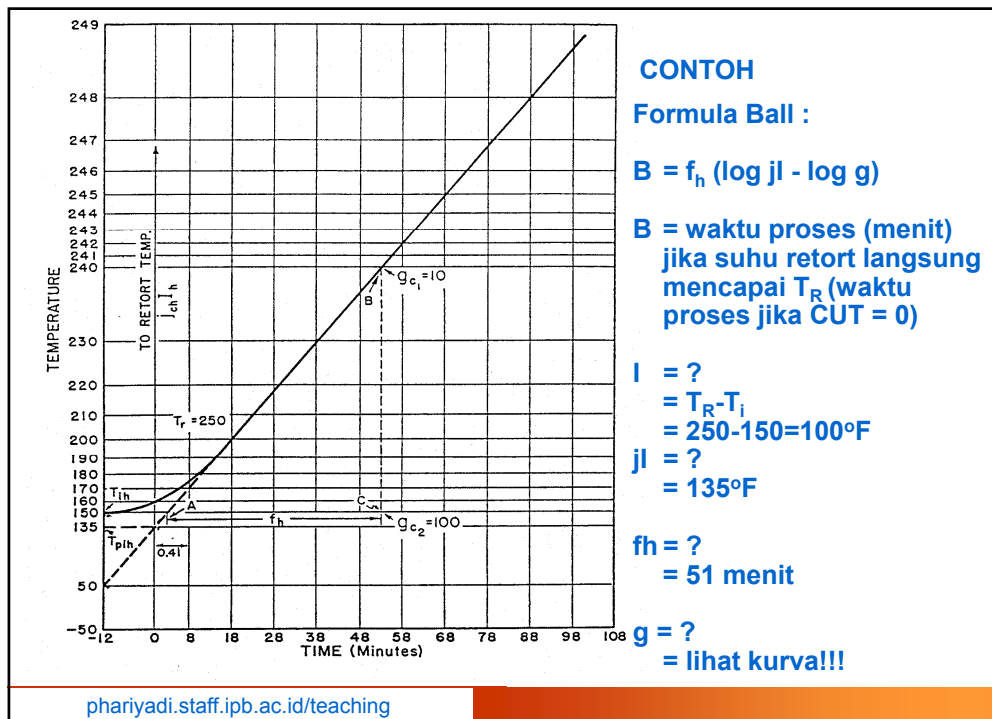
$l$  : perbedaan suhu retort dengan suhu awal produk ( $T_R - T_i$ )

$F_0$  : Dosis panas yang diterima oleh produk; dinyatakan sebagai ekuivalen lama pemanasan (menit) pada suhu konstan  $250^\circ\text{F}$

$F_i$  : Lama pemanasan pada suhu  $T_R$  yang memberikan dosis panas ekuivalen dengan pemanasan selama 1 menit pada suhu  $250^\circ\text{F}$   
 $\dots\dots\dots \rightarrow F_i = 10^{(250 - T_R)/z}$

$U$  : Waktu pada  $T_R$  ekuivalen dengan  $F_0 \dots\dots\dots \rightarrow U = F_i F_0$

[phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching](http://phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching)



### Penentuan nilai g???

**g** : unaccomplished temperature difference at the end of a specified heating time  $(T_R - T_{pe})$ , dimana  $T_{pe}$  = suhu di akhir proses

Kita ingin menentukan waktu proses  
.....> tidak diketahui  $T_{pe}$

$g = f(D, Z, F_0, f_h \text{ dan } T_R)$

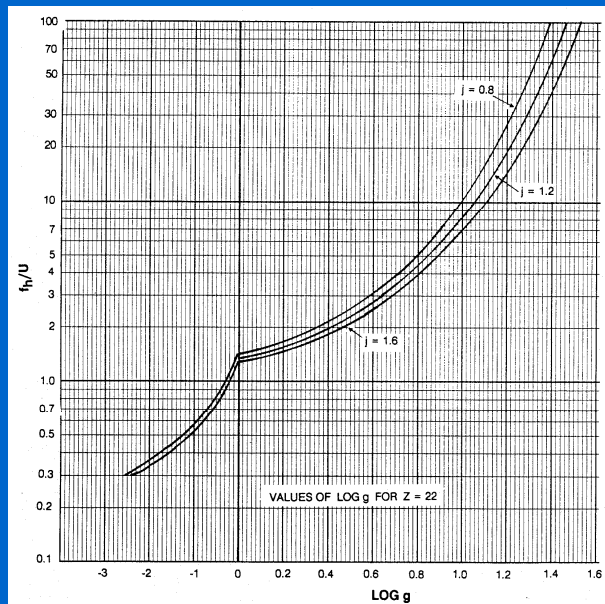
Secara perhitungan + empiris

.....> nilai g telah ditabulasikan

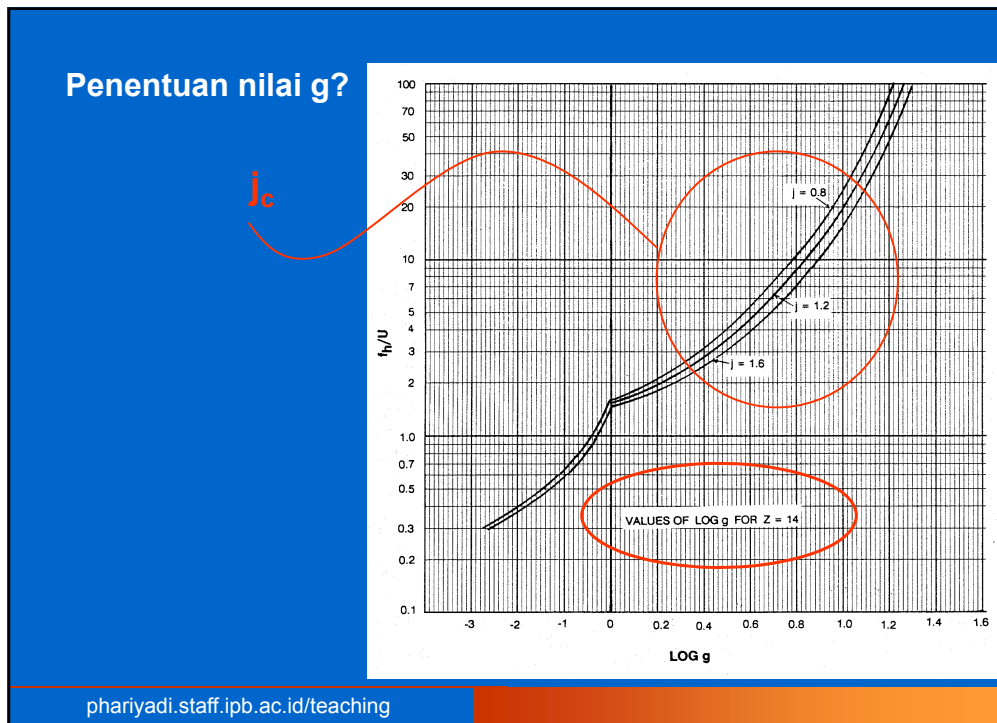
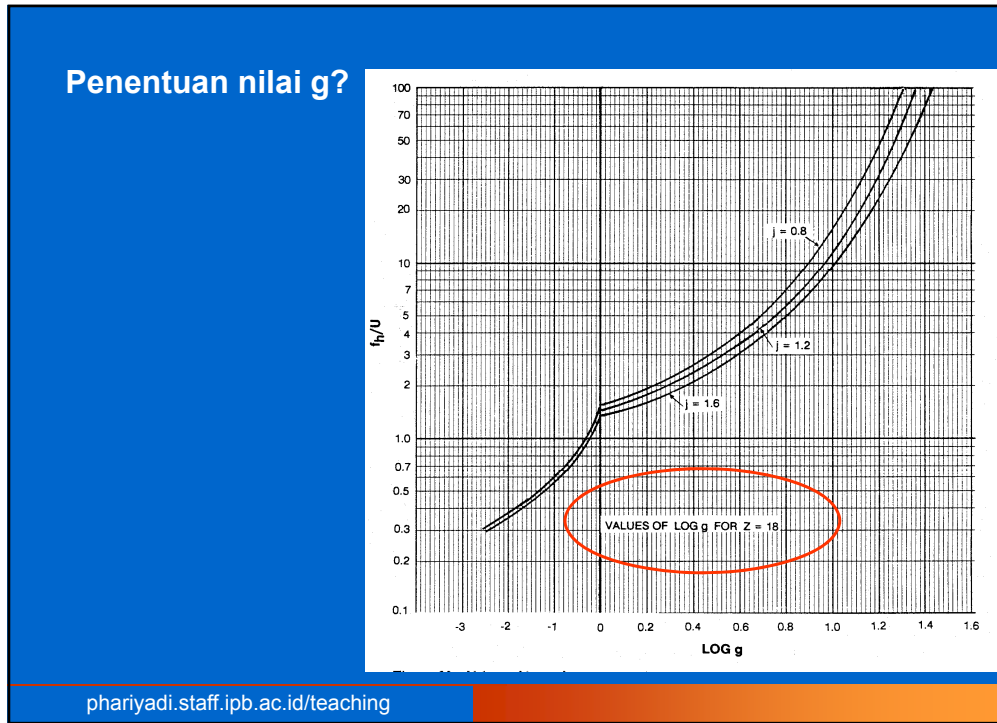
(Tabel + Diagram :  
hubungan  $f_h/U$  dan  $\log g$ , pada berbagai nilai  $z, j_c$ )

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

### Penentuan nilai g?

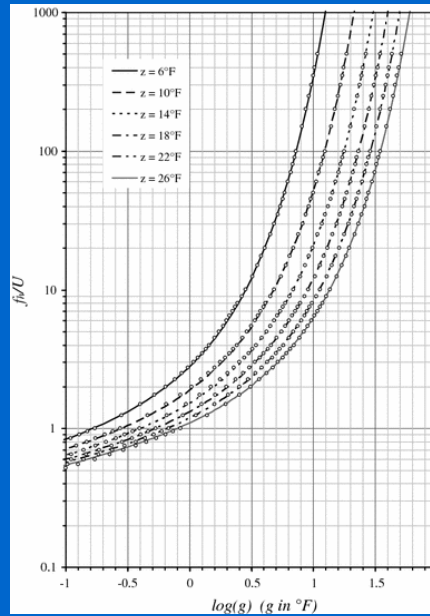


phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

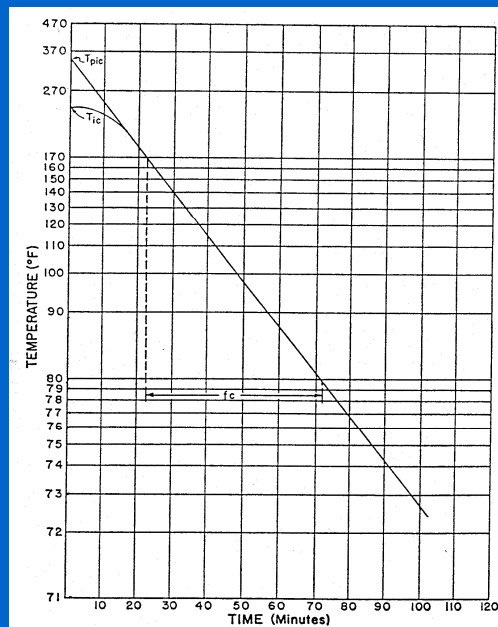


## INTRODUCTION TO PROCESS CALCULATIONS

Penentuan nilai g???

Penentuan  $j_c$ 

- Lakukan plot penetrasi panas selama pendinginan
- kertas grafik tetap normal (tidak dibalik)
- nilai di paling bawah =  $1^\circ$  diatas suhu air pendingin
- $j_c = (T_{pic} - T_w) / (T_{ic} - T_w)$
- nilai  $j_c > j = j_h$
- jika kurva pendinginan tidak dipunyai :  
dapat digunakan  $j$  (safety approach)



phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**EXAMPLE**

Suppose that for processing a particular product, the following heat penetration data are given:

$$T_R = 250^\circ\text{F}$$

$$T_l = 170^\circ\text{F}$$

$$j = j_h = 2$$

$$j_c = 1.4$$

$$f_h = 25 \text{ min}$$

What process time (B) will be required to achieve a specified sterilizing value  $F_0 = 5.6$  assuming that  $Z = 14^\circ\text{F}$ ?

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

**SOLUTION:**

$T_R = 250^\circ\text{F}$  = reference temperature .....  $F_i = 1$

$$U = F_0 = 5.6$$

Referring to the Ball formula, we have

$$B = f_h (\log j_h l - \log g)$$

$$l = (T_R - T_l) = (250 - 170) = 80$$

$$j_h l = 2.00 \times 80 = 160$$

$$\log j_h l = 2.778$$

Find  $\log g$  from the  $f_h/U$  versus  $\log g$  graph for  $Z = 14$ .

$$\frac{f_h}{U} = \frac{25}{5.6} = 4.46$$

phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching



Penentuan nilai g?

$j_c = 1.4?$

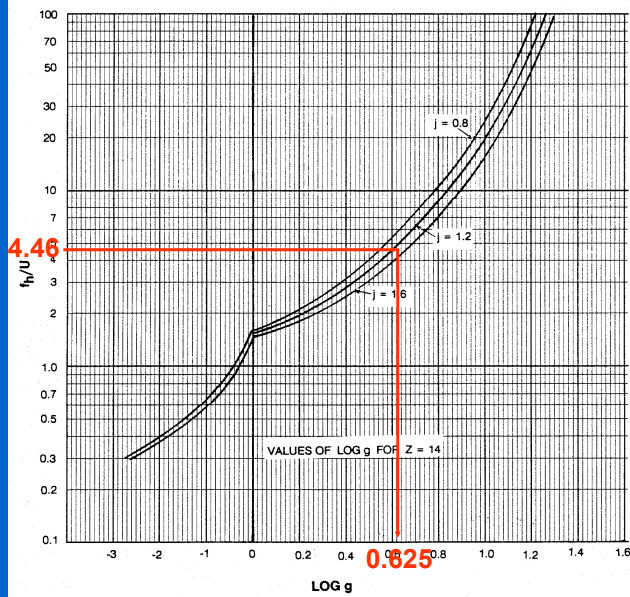
Lihat antara

$j_c = 1.2$  dan  $j_c = 1.6$ ,  
untuk  $f_h/U = 4.46$

...>  $\log g = 0.625$ ;

$B = ?$

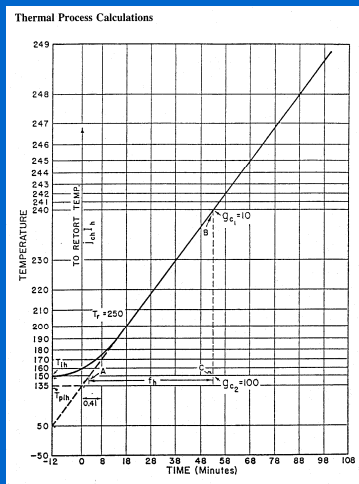
$= f_h(\log j_l - \log g)$   
 $= 25(2.778 - 0.625)$   
 $= 25(2.153) = 54 \text{ min}$



phariyadi.staff.ipb.ac.id/teaching

INTRODUCTION TO PROCESS CALCULATIONS

Rangkuman

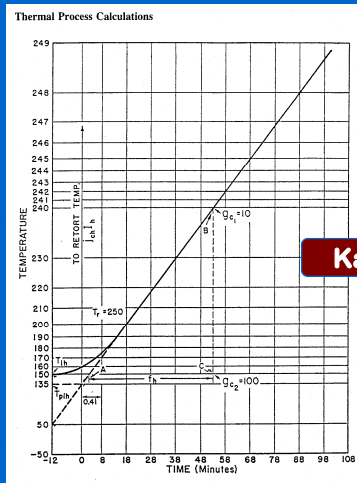


Dari kurva penetrasi panas :

- Tentukan  $f_h$
- Buat garis vertikal di  $t=0.6 \text{ CUT}$
- Tentukan  $j_l$  (baca di sumbu kanan Y)
- (hitung/tentukan  $j$ )
  - $\rightarrow j = j_l/I$
  - $\rightarrow I = RT - IT$

## INTRODUCTION TO PROCESS CALCULATIONS

## Rangkuman



Dari kurva penetrasi panas :

- Tentukan  $f_h$
- Buat garis vertikal di  $t=0.6 \text{ CUT}$
- Tentukan  $jl$  (baca di sumbu kanan Y)
- (hitung/tentukan  $j$ )
  - $\rightarrow j = j/l$
  - $\rightarrow I = RT - IT$

## Kasus 1

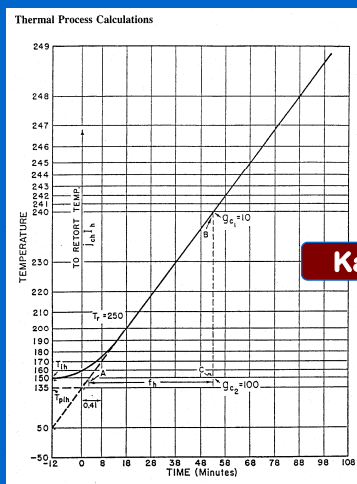
Menentukan nilai  $F_o$ ; jika diketahui B

- ..... hitung  $\log g = \log jl - (B/f_h)$
- ..... dengan diketahui  $\log g \rightarrow$  cari  $f_h/U$
- ..... hitung  $F_i = 10^{(250-TR)/z}$

$$\rightarrow F_o = f_h / [(f_h/U)F_i]$$

## INTRODUCTION TO PROCESS CALCULATIONS

## Rangkuman



Dari kurva penetrasi panas :

- Tentukan  $f_h$
- Buat garis vertikal di  $t=0.6 \text{ CUT}$
- Tentukan  $jl$  (baca di sumbu kanan Y)
- (hitung/tentukan  $j$ )
  - $\rightarrow j = j/l$
  - $\rightarrow I = RT - IT$

## Kasus 2

Menentukan nilai B; jika dikehendaki nilai  $F_o$

- ..... hitung  $F_i = 10^{(250-TR)/z}$
- ..... hitung  $f_h/U = f_h / (F_o * F_i)$
- ..... dengan diketahui  $f_h/U \rightarrow$  cari  $\log g$

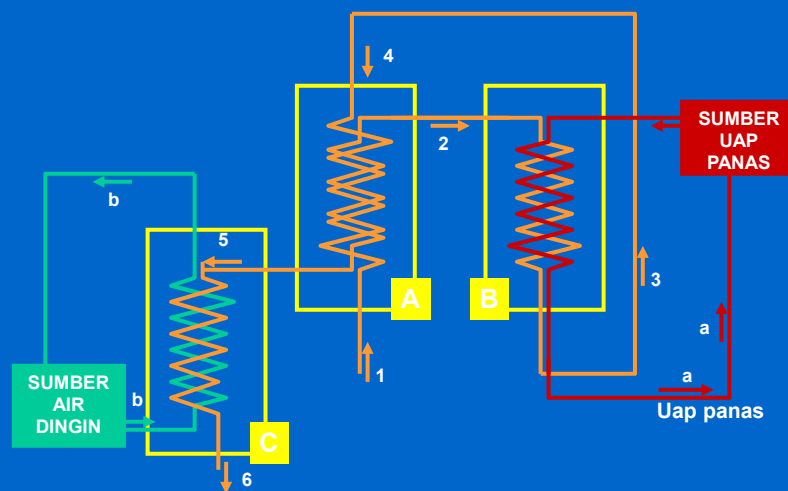
$$\rightarrow B = f_h (\log jl - \log g)$$

## KECUKUPAN PROSES PANAS DALAM SISTEM ASEPTIK

Dipengaruhi oleh:

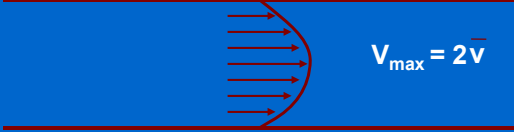
- Karakteristik fluida (Newtonian/non-Newtonian)
- Ada tidaknya particulate
- Karakteristik aliran fluida dalam pipa:
  - Dimensi pipa (diameter, panjang pipa)
  - Densitas fluida
  - Viskositas
  - Kecepatan aliran fluida dalam pipa

## Pasteurisasi Kontinyu untuk produk cair sebelum dikemas



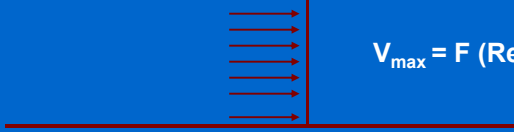
**PROFIL LAJU ALIRAN → SHP: COLDEST POINT  
NEWTONIAN ?**

**ALIRAN LAMINAR,  $Re < 2100$**



$V_{\max} = 2\bar{v}$

**ALIRAN TURBULEN,  $Re < 4000$**



$V_{\max} = F(Re)$

$$\frac{V}{V_{\max}} = 0.036 \log(Re) + 0.662$$

$Re > 10000, \frac{V}{V_{\max}} \sim 0.82$

**PROFIL LAJU ALIRAN → SHP: COLDEST POINT  
Non-NEWTONIAN ?**

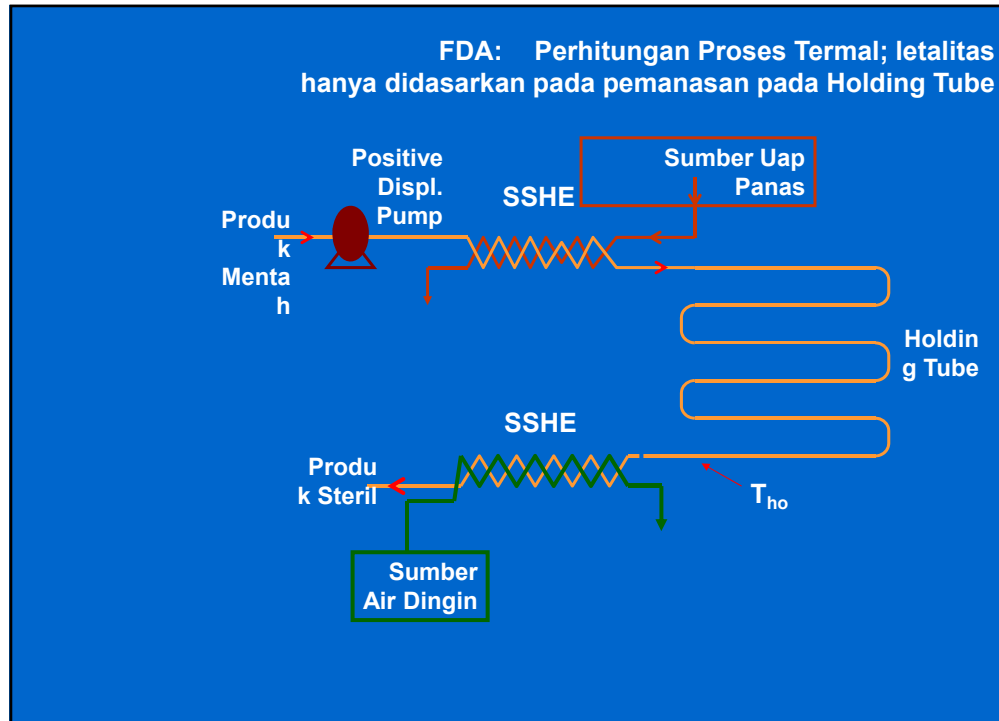
$$\tau = K \left( \frac{dV}{dr} \right)$$

$$Re_G = \frac{D^n v^{2-n} \rho}{K} \left( \frac{n}{1+3n} \right)^n 2^{3-n}$$

Generalized Re

Untuk aliran laminar:  $\frac{\bar{v}}{V_{\max}} = \frac{1+n}{1+3n}$

$$V_{\max} = \left( \frac{1+3n}{1+n} \right) \bar{v}$$

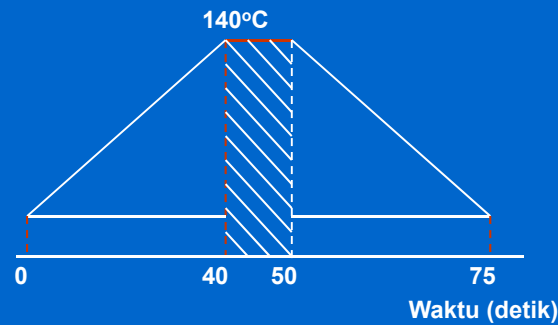


## LETALITAS

$$F = \frac{t_{\min}}{10^{\left[\frac{250-T_{ho}}{z}\right]}} = \frac{1}{10^{\left[\frac{250-T_{ho}}{z}\right]}} \frac{L}{2V}$$

$T_{ho}$  = Suhu pada Holding Tube (diukur pada "outlet")  
 $L$  = Panjang Holding Tube

## LETALITAS - ILUSTRASI



Diketahui:  $D_{121.1} = 1$  menit  
 $Z = 10^\circ\text{C}$

Cek: Apakah kondisi sterilisasi komersial telah tercapai? (Proses 12 D)

## LETALITAS - ILUSTRASI

$$F = \frac{t_{\min}}{10^{\left(\frac{121.1 - T_{ho}}{Z}\right)}}$$

$$F = \frac{10 \, dt}{10^{\left(\frac{121.1 - 140}{10}\right)}} = 776.2 \, dt = 12.9 \, \text{menit}$$

$$\text{Proses 12 D} \rightarrow F_o = 12 \, D_{121.1}$$

$$F_o = 12 \, \text{menit}$$

$\therefore$  Sterilisasi komersial telah tercapai