

BAB III

PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN

Beban pendinginan dimaksudkan sebagai jumlah kalor yang harus ditanggulangi oleh unit mesin pendingin. Adapun beban yang dimaksud adalah:

1. Beban dari produk
2. Beban udara luar yang masuk melalui bagian atas tabung (*air change*)
3. Beban melalui sekeliling dinding tabung
4. Beban melalui penutup bagian atas dan bawah tabung

A. Perencanaan Produk

Untuk menghasilkan es krim yang bermutu maka perlu di tentukan komposisi adonan yang tepat, berikut ini perencanaan bahan adonan yang akan dibuat :

Milk / Susu :

1500 ml = 1,5 liter
1 liter = (35, 19 ounce)
1,5 liter = (52.792 ounce)
52.792 ounce = 3.2995 Lb

Egg / Telur :

$\frac{1}{4}$ telur = 0,25 Kg
 $0,25 \times 2,2 = 0,55$ pound
3 butir telur = 1,65 Lb

Sugar / Gula :

$\frac{1}{4}$ gula = 0,25 Kg
 $0,25 \times 2,2 = 0,55$ pound
1 kg gula = 2,2 Lb

Flour / Basic Ice Cream :

$\frac{1}{4}$ Kg = 0,25 Kg
 $0,25 \times 2,2 = 0,55$ pound
2 kg Flour = 4,4 Lb

B. Beban Produk

Milk / Susu :

$$Q_s = M \times C \times \Delta t$$

$$= 3.2995 \times 0,90 \times (82,4 - 31)$$

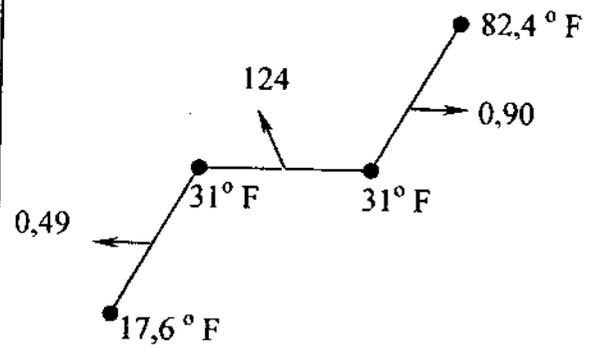
$$= 152,6 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$

$$Q_L = 3.2995 \times 124$$

$$= 409,1 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$

$$Q_s = 3.2995 \times 0,49 \times (31 - 17,6)$$

$$= 21,66 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$



Egg / Telur :

$$Q_s = 1,65 \times 0,85 \times (82,4 - 31,6)$$

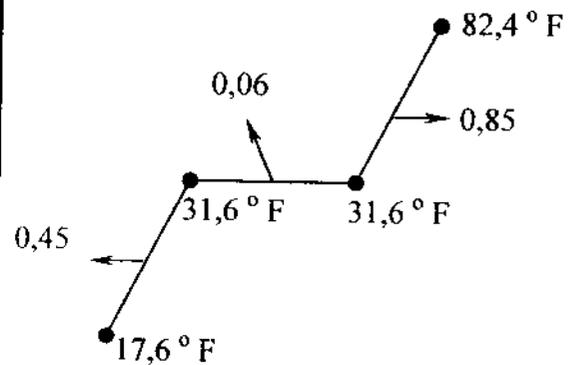
$$= 71,427 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$

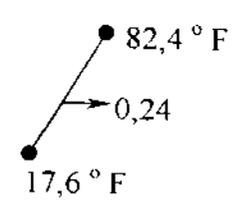
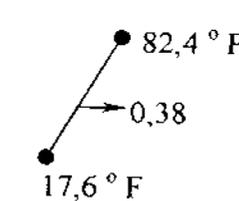
$$Q_L = 1,65 \times 0,06$$

$$= 0,099 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$

$$Q_s = 1,65 \times 0,45 \times (31 - 17,6)$$

$$= 9,9495 \text{ Btu/}^\circ\text{F}$$



<p><u>Sugar / Gula</u></p> $Q_s = 2,2 \times 0,24 \times (82,4 - 17,6)$ $= 34,21 \text{ Btu}^\circ\text{F}$	
<p><u>Flour / Basic Ice Cream :</u></p> $Q_s = 4,4 \times 0,38 \times (82,4 - 17,6)$ $= 108,34 \text{ Btu}^\circ\text{F}$	

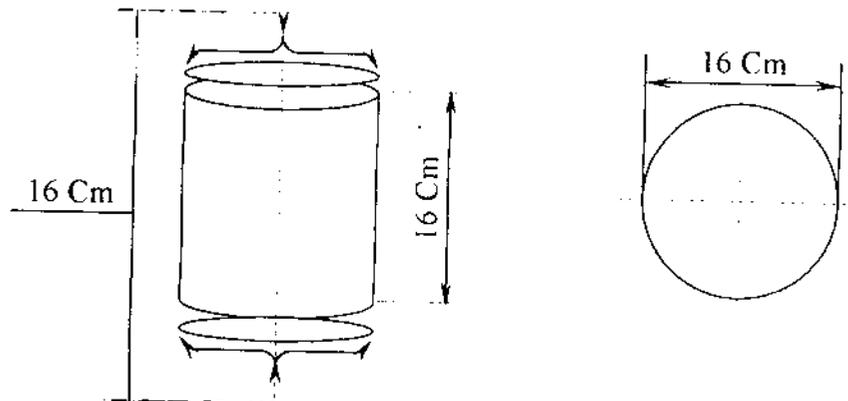
Beban panas produk keseluruhan adalah :

$$\begin{aligned}
 Q \text{ total produk} &= Q_{\text{milk}} + Q_{\text{egg}} + Q_{\text{sugar}} + Q_{\text{flour}} \\
 &= 583,36 + 81,47 + 34,21 + 108,34 \\
 &= 807,38 \text{ Btu} \times 24 \\
 &= 19377,12 \text{ Btu}/24\text{hr}
 \end{aligned}$$

Karena mesin pembuat es krim ini bekerja selama 3 jam dalam sehari, maka beban dari produk adalah $Q = 19377,12 / 3 = 6459,04 \text{ BTU}/\text{jam}$ kerja.

C. Dimensi Container

Pada perancangan ini, ruang pendingin produk untuk kapasitas 2 liter, ukuran ruang pendinginan berbentuk tabung dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar.32: Ukuran tabung

$$\text{Tinggi (t)} = 16 \text{ Cm} = 0,524 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter (d)} = 16 \text{ Cm} = 0,524 \text{ ft}$$

$$\pi = 3.14$$

1) Volume ruang (tabung) :

$$\begin{aligned} V &= \pi/4 \times d^2 \times t^2 \\ &= 3.14 /4 \times 0,524^2 \times 0,524^2 \\ &= 0,785 \times 0,274 \times 0,274 \\ &= 0,058 \text{ cuft (ft}^3) \end{aligned}$$

2) Luas permukaan tabung untuk bagian atas dan bawah:

$$\begin{aligned} &= 2 (\pi/4 \times d^2) \\ &= 2 (0,785 \times 0,524^2) \\ &= 0,10 \text{ sq ft (ft}^2) \end{aligned}$$

3) Luas permukaan sekeliling ruangan yang didinginkan (berbentuk tabung)

$$\begin{aligned} A &= \pi \times d \times t \\ &= 3,14 \times 0,524 \times 0,524 \\ &= 0,86 \text{ sq ft (ft}^2) \end{aligned}$$

D. Beban Panas Pertukaran Udara (*Air Change*)

Untuk menentukan jumlah beban udara luar yang masuk melalui bagian atas tabung pada saat penutup bagian dibuka, maka menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Fresh air} = (Q = V \times \delta \times \Delta i \times \text{air change / day}) \quad (\text{Braunchweiger 1980 : 102})$$

Q = Beban panas akibat udara yang masuk ke tabung (Kcal/24)

V = Volume ruang pendingin (m^3)

δ = berat jenis (kg/m^3)

Δi = Perbedaan entalpy udara luar dan dalam (kcal/kg)

Air change = Faktor Pertukaran udara perhari.

Adapun faktor pertukaran udara adalah 1,12 di dapat dari I-X diagram (Braunchweiger 1980 : 75) dengan data sebagai berikut :

Temperatur udara luar : $28^\circ\text{C} = 82,4^\circ\text{F}$

Temperatur ruang pendingin : $-8^\circ\text{C} = 17,6^\circ\text{F}$

RH udara luar : 60 %

Maka beban pertukaran udara adalah sebagai berikut .

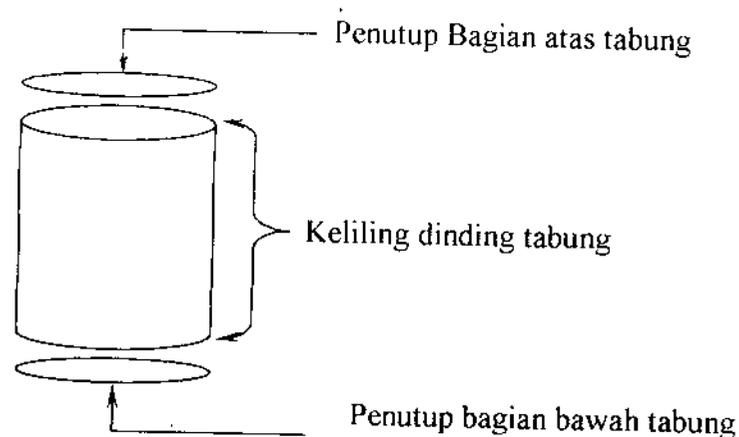
$$\begin{aligned} Q &= V \times \delta \times \Delta i \times \text{air change / day} \\ &= 0,001642 \text{ m}^3 \times 1,12 \times (15,8 - 0) \times 10 \\ &= 0,291 \text{ Kcal / hr} \\ &= 1,154 \text{ Btu/hr} \times 24 \\ &= 27,71 \text{ Btu/24hr} \end{aligned}$$

mesin pembuat es krim ini bekerja selama 3 jam dalam sehari, jadi beban panas dari pertukaran udara yang masuk melalui bagian atas tabung :

$$Q = 27,71 / 3 = 9,23 \text{ BTU/jam kerja.}$$

E. Beban Konduksi

Beban panas ini disebut sebagai beban panas yang terjadi secara konduksi karena adanya perbedaan temperatur ruang pendingin dengan temperatur sekitarnya, seperti melalui penutup bagian atas tabung, keliling dinding tabung, dan permukaan bagian bawah tabung.



Gambar 33: Dimensi Tabung (Tampak Depan)

Besarnya beban panas akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: jenis insulasi, luas keliling container, dan perbedaan temperatur produk pendingin dengan temperatur udara luar.

Untuk menentukan besar *thermal conductance* dari material insulasi yang tidak homogen dapat dihitung dengan rumus :

$$C = \frac{K}{X} \quad (\text{R.J. Dossat 1978 : 193})$$

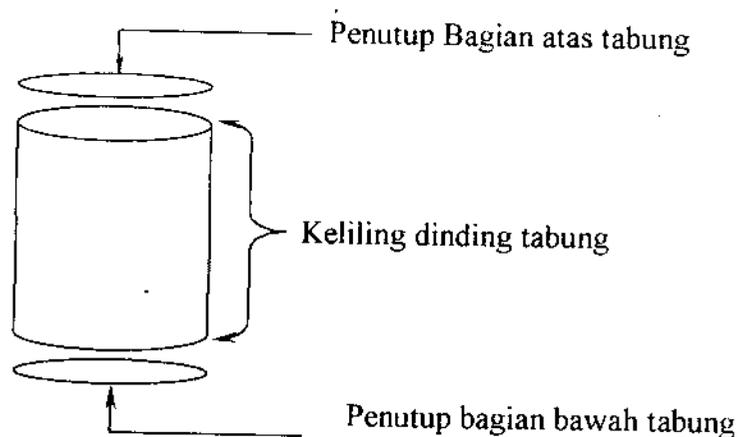
K = *Thermal Conductivity* (Btu/hr/Sqft/°F)

X = *Thickness of Material* (in)

C = *Thermal Conductance* (Btu/hr/Sqft/°F)

E. Beban Konduksi

Beban panas ini disebut sebagai beban panas yang terjadi secara konduksi karena adanya perbedaan temperatur ruang pendingin dengan temperatur sekitarnya, seperti melalui penutup bagian atas tabung, keliling dinding tabung, dan permukaan bagian bawah tabung.



Gambar 33: Dimensi Tabung (Tampak Depan)

Besarnya beban panas akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: jenis insulasi, luas keliling container, dan perbedaan temperatur produk pendingin dengan temperatur udara luar.

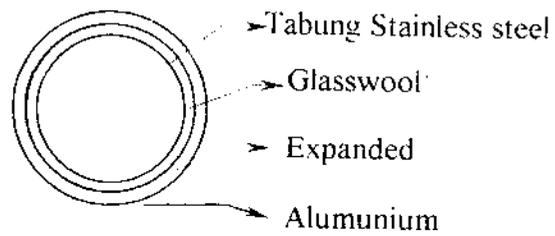
Untuk menentukan besar *thermal conductance* dari material insulasi yang tidak homogen dapat dihitung dengan rumus :

$$C = \frac{K}{X} \quad (\text{RJ. Dossat 1978 : 193})$$

K = *Thermal Conductivity* (Btu/hr/Sqft/F)

X = *Thickness of Material* (in)

C = *Thermal Conductance* (Btu/hr/Sqft/F)



Gambar.34: Insulasi Tabung

Berdasarkan tabel 4 spesifikasi tabung, khusus untuk tabung stainless steel dapat diketahui besar harga U koefisien :

$$C_{\text{stainless steel}} = \frac{12}{0.011}$$

$$= 1090,9 \text{ Btu/hr/ft}^2/^{\circ}\text{F}$$

Berdasarkan tabel 6 spesifikasi material insulasi dapat diketahui harga U di sekeliling tabung :

$$C_{\text{glasswool}} = \frac{0,26}{0,39}$$

$$= 0,66 \text{ Btu/hr/ft}^2/^{\circ}\text{f}$$

$$C_{\text{expanded}} = \frac{0,21}{0,31}$$

$$= 0.67 \text{ Btu/hr/ft}^2/^{\circ}\text{f}$$

$$K_{\text{aluminium}} = 1,64 \times 0.012$$

$$= 0,019 \text{ Btu/hr/ft}^2/^{\circ}\text{F}$$

F. Beban Konduksi Keliling Tabung

Dalam perancangan ini konstruksi material tabung dan insulasi yang digunakan berbeda, untuk mendapatkan *total thermal resistance* dihitung termasuk lapisan film udara, maka digunakan persamaan :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_1} + \frac{X}{K_1} + \frac{X}{K_2} + \frac{X}{K_n} + \frac{1}{F_0}$$

(RJ.Dossat.1978 : 193)

U = Koefisien perpindahan panas total dinding tabung Btu/hr/ft²/°F

$\frac{1}{f_1}$ = Koefisien film lapisan udara dalam dinding tabung

X = Ketebalan insulasi inch

K = Konduktivitas thermal insulasi Btu/hr/ft²/°F

$\frac{1}{F_0}$ = Koefisien film lapisan udara luar dinding tabung

Dari persamaan diatas maka faktor U tabung dari masing-masing jenis insulasi dapat ditentukan :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{X}{K_1} + \frac{X}{K_2} + \frac{X}{K_3} + \frac{1}{F_0}}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{0,011}{12} + \frac{0,39}{0,26} + \frac{0,31}{0,21} + \frac{0,012}{1,64} + \frac{1}{4}}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,6 + 9^{-4} + 1,5 + 1,47 + 0,007 + 0,25} = \frac{1}{3,8279}$$

$$= 0,26 \text{ Btu/hr/ft}^2/\text{°F}$$

G. Beban Panas Dari Sekeliling Tabung

Maka harga Q untuk keseluruhan keliling tabung dihitung dengan rumus:

$$Q = A \times U \times \Delta t$$

Dimana : A = luas permukaan keliling tabung

U = koefisien perpindahan panas keliling tabung

Δt = perbedaan luar dan dalam tabung

Melalui persamaan diatas maka koefisien perpindahan panas keliling tabung adalah :

$$\begin{aligned} Q &= 0,86 \times 0,26 \times (82,4 - 17,6) \\ &= 14,48 \text{ Btu/hr} \times 24 \\ &= 347,7 \text{ Btu/24hr} \end{aligned}$$

Karena mesin pembuat es krim ini bekerja selama 3 jam dalam sehari, maka beban perpindahan panas keliling tabung :

$$Q = 347,7 / 3 = 115,9 \text{ Btu/jam kerja.}$$

H. Beban Konduksi Bagian Atas Dan Bawah Tabung

Untuk mengetahui jumlah U penutup bagian atas dan bawah tabung berdasarkan tabel 5 spesifikasi *conductivity of metal properties* (Salisbury.J.K 1950 :11.05) dan mengikuti persamaan thermal conductance (Dossat 1978 : 193) maka perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{f_1} + \frac{X}{K_1} + \frac{X}{K_2} + \frac{1}{F_0} \\ &= \frac{1}{1,65} + \frac{0,011}{32} + \frac{0,011}{32} + \frac{1}{4} \\ &= \frac{1}{0,6 + 3^{-4} + 3^{-4} + 0,25} \\ &= \frac{1}{0,8506} \\ &= 1,17 \text{ Btu/hr/ft}^2\text{/}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

I. Beban Panas Bagian Atas Dan Bawah Tabung

Untuk mencari Q jumlah panas dari penutup bagian atas dan bawah tabung

$$Q = A \times U \times \Delta t$$

$$\text{Maka : } Q = 0,10 \times 1,17 \times (82,4 - 17,6)$$

$$= 7,5816 \text{ Btu/hr} \times 24$$

$$= 181,9 \text{ Btu/24hr}$$

Karena mesin pembuat es krim ini bekerja selama 3 jam dalam sehari, maka beban perpindahan panas bagian atas dan bawah tabung :

$$Q = 181,9 / 3 = 60,63 \text{ Btu/jam kerja}$$

REKAPITULASI BEBAN PENDINGINAN

No	Jenis Beban	Btu /jam kerja
1	Panas Produk	6459,04
2	Panas dari Pertukaran Udara (<i>Air Change</i>)	9,23
3	Panas dari Keliling Tabung	115,9
4	Panas dari Bagian Atas Dan Bawah Tabung	60,63
Jumlah		6644,8
Faktor keamanan (10%)		664,48
Beban panas total		7309,28

Beban pendinginan total adalah = 7309,28 BTU/jam kerja