



BAB III

PERANCANGAN DAN PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN

3.1 Data Perhitungan

Bangunan yang akan dirancang terletak di daerah Kabupaten Kendal, bangunan tersebut direncanakan menghadap ke arah utara. Dalam perancangan ini daerah Kendal utara terletak pada 7° 24' LS, pada temperatur 26 sampai dengan 33 °C dengan kelembaban relatif 53 % hingga kelembaban relatif maksimum 90 %.

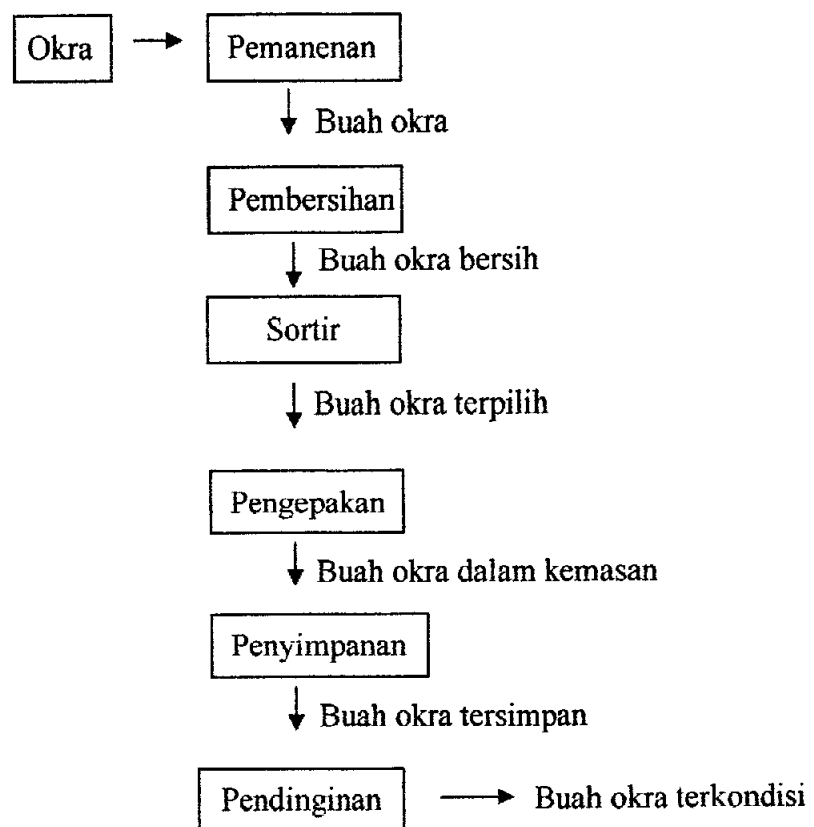
3.1.1 Karakteristik dan Kondisi Produk

Selama masa penanganan pasca panen buah okra mengalami berbagai perlakuan antara lain pencucian, sortasi atau pemilihan berdasarkan ukurannya, pengepakan kemudian penyimpanan. Buah sebelum ekspor perlu dipertahankan kesegarannya dalam penyimpanan pada ruang yang didinginkan. Pengendalian mutu buah okra dilakukan dengan cara pengawasan terhadap penyebab kerusakan yaitu aerasi yang cukup, penyimpanan dengan suhu rendah dan kelembaban tinggi.

Suhu ruang yang diinginkan diatur pada temperatur 1,6 °C sampai 4 °C atau 33 °F sampai 39,2 °F dengan kelembaban relatif 80 % hingga 90 %, dengan masa penyimpanan selama satu bulan. *cold storage* ini untuk mendinginkan buah okra (*Abelmoshcus Esculentus*) dengan kapasitas satu ton. Tanaman okra dipercaya merupakan bentuk pertengahan antara *Abelmoshcus*

esculentus dan *Abelmoshcus manihot* sehingga buah okra dapat dikategorikan dalam jenis buncis hijau (*beans green*) (Yamaguchi,1998:168).

Setelah dipanen dari tempat pertanian buah okra harus didinginkan, hal ini bertujuan agar kesegaran tetap terjaga, ketetapan sifat dari produk, memenuhi standar perdagangan atau ekspor, menghindarkan dari kerusakan, mengawetkan produk hasil. Komposisi buah okra dengan kandungan vitamin A yang tinggi, baik disimpan ditemperatur 1,6 °C atau 33 °F dengan *relatif humidity* 90 %. Pada kondisi tersebut dapat bertahan hingga sebulan. (Dossat, 1961: 455). Tahap-tahap penanganan penyimpanan buah okra digambarkan sebagai berikut:



Gambar. 3.1. Tahap-tahap penanganan buah okra.

3.1.2 Kondisi Udara Luar

Pembuatan *Cold storage* yang akan direncanakan berada di lokasi daerah sekitar pertanian, tepatnya di desa Bulugede, Kabupaten Kendal. *Cold storage* yang direncanakan berada diruangan terbuka dan menghadap ke arah utara. Perancangan *cold storage* direncanakan berada di ruangan terbuka, maka temperatur luar *cold storage* dianggap relatif sama dengan temperatur udara untuk wilayah Kabupaten Kendal.

3.1.3 Penggunaan Ruangan

Perancang *Cold storage* ini khusus untuk penyimpanan buah okra dengan kapasitas satu ton atau 2.204 pounds. Dalam *cold storage* yang direncanakan akan dipasang rak dan berfungsi untuk keperluan penyimpanan dan juga agar terlihat teratur. Bahan rak terbuat dari bahan baja yang dipasang secara semi permanen. Jumlah pekerja dalam *cold storage* sebanyak dua orang, dengan waktu total kerja 4 jam setiap hari. Di dalam *cold storage* ini, dipasang dua buah lampu TL (*tube lamp*) dengan jenis *flourescent* daya 40 Watt tiap lampu. Lampu yang terpasang berfungsi sebagai penerangan saat pekerja menyimpan dan mengambil produk dari *cold storage*.

3.1.4 Ukuran Ruangan dan Struktur Bangunan

Perencanaan pembuatan *Cold storage* yang dirancang dapat menampung satu ton buah okra. Ukuran dari buah okra yaitu panjang 10 cm,

diameter 2 cm dengan berat tiap buah 12,5 gr, sehingga perkiraan produk yang akan disimpan dalam ruangan tersebut dimensinya $\pm 2,5 \text{ m}^3$ atau $551,77 \text{ ft}^3$.

Di dalam *cold storage* ini terdapat rak yang digunakan sebagai tempat penyimpanan produk. Rak yang direncanakan terbuat dari baja siku, banyaknya rak ada 14 rak, dengan tujuh dibagian kanan dan tujuh dibagian kiri, dengan jarak antara rak bagian kanan dan kiri adalah 80 cm. Panjang tiap rak 400 cm, lebar 80 cm dan tinggi 150 cm. Jarak antara rak atas dan bawah 21,42 cm. Penyusunan kemasan produk yang kondisikan disusun sepanjang rak. Dari dimensi bagian yang akan disimpan tersebut, maka ukuran ruangan penyimpanan produk yang berkapasitas satu ton adalah sebagai berikut:

Panjang	: 6	m	: 19,68	ft
Lebar	: 3	m	: 9,84	ft
Tinggi	: 2,5	m	: 8,2	ft
Luas	: 9	m^2	: 193,65	ft^2
Volume	: 22,5	m^3	: 1.587,93	ft^3

Ukuran ruangan ini merupakan ukuran bagian luar (*out side*), sedangkan insulasi dan bahan bangunan belum termasuk perhitungan ruangan.

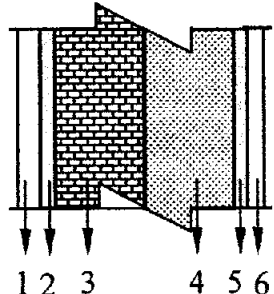
3.1.5 Struktur Bahan Bangunan

Bagian-bagian dari bangunan yang sangat berpengaruh terhadap besarnya beban pendinginan di dalam ruangan antara lain dinding, lantai, atap dan pintu. Bahan dan struktur dari bagian tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka perhitungan bangunan dapat dilakukan sebagai berikut:

3.1.5.1 Struktur Dinding

Struktur dinding terdiri dari batu bata yang dilapisi dengan lapisan semen plester. Bagian dalam ruangan memakai insulasi dari bahan *polyurethane* dan ditutup dengan pelat alumunium. Data struktur dan ketebalan dinding secara berurutan dari luar ke dalam sebagai berikut:

Tabel 3.1 Struktur dan bahan dinding

Struktur	Bahan	Tebal	
		inch	feet
	1. Lapisan film udara luar	-	-
	2. Semen plester	0,5	0,045
	3. Batu bata	8	0,67
	4. <i>Polyurethane</i>	5	0,45
	5. <i>Alumunium foil</i>	0,1	0,0083
	6. Lapisan film udara ruangan	-	-
Total		13,6	1,1733

Gambar.3.2 Struktur dinding

Untuk menentukan harga koefisien perpindahan panas total (U) melalui dinding, lantai, atap dan pintu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}} \quad (\text{Dossat, 1961: 149})$$

Dimana;

U = Koefisien perpindahan panas [BTU/Jam/°F/ft²].

$k_{1,2,\dots,n}$ = Konduktivitas panas dari bahan bangunan [BTU.in./hr. ft². °F]

f_i = Konveksi lapisan udara pada dinding bagian dalam.

Nilainya 1, 65 [BTU/hr. ft². °F]

(Dossat, 1961: 149)

f_o = Konveksi lapisan udara pada dinding bagian luar.

Nilainya 4,0 [BTU/hr. ft². °F] (Dossat, 1961: 194)

Penentuan nilai C (*Conductance*) Alumunium dapat dilihat pada tabel 8-4 (Norman,1997:130). Di tabel 10-4 (Dossat, 1961: 443) penentuan harga k dan C serta *resistance* yang dipakai sebagai berikut, untuk tiap material, nilai $\frac{x}{k}$ atau $\frac{1}{C}$ dicari dengan faktor konduktansi sebagai berikut:

Tabel 3.2. Harga faktor konduktansi bahan

Konduktivitas panas	Nilai
Faktor C <i>Aluminium foil</i>	1,64 [BTU /hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Cement plester</i>	8,00 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Brick</i>	5,00 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Concrete</i>	12,0 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Cork board</i>	0,28 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Polyurethane</i>	0,17 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor k <i>Wood</i>	0,80 [BTU.in/hr. ft ² . °F]
Faktor C <i>Tile, hollow clay</i>	0,64 [BTU /hr. ft ² . °F]

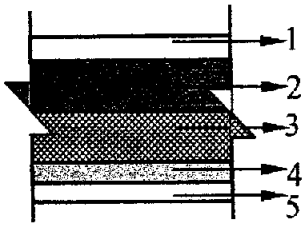
Penentuan harga faktor U untuk dari dinding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 U_{dinding} &= \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{x_5}{k_5} + \frac{1}{f_o}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{0,5}{8} + \frac{8}{5} + \frac{5}{0,17} + \frac{0,1}{1,64} + \frac{1}{4}} \\
 &= \frac{1}{31,98} = 0,0313 \text{ [BTU/hr. ft}^2 \cdot \text{°F]}.
 \end{aligned}$$

3.1.5.2 Struktur Atap

Struktur atap terdiri dari beton (*concrete*), dibagian bawahnya dilapisi dengan *polyurethane*. Pada bagian paling bawah dari atap dilapisi *aluminium foil*, data struktur dan ketebalan atap sebagai berikut:

Tabel 3.3 Struktur dan bahan atap

Struktur	Bahan	Tebal	
		inch	feet
	1. Lapisan film udara luar	-	-
	2. <i>Concrete</i>	8	0,67
	3. <i>Polyurethane</i>	5	0,45
	4. <i>Aluminium foil</i>	0,1	0,0083
	5. Lapisan film udara ruangan	-	-
Total		13,1	1,092

Gambar.3.3 Struktur atap

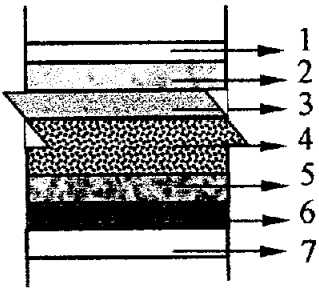
Untuk menentukan faktor U dari atap dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 U_{Atap} &= \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{f_0}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{8}{12} + \frac{5}{0,17} + \frac{0,1}{1,64} + \frac{1}{4}} \\
 &= \frac{1}{0,6+0,67+29,41+0,061+0,25} \\
 &= \frac{1}{30,99} = 0,323 \text{ [Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F]}
 \end{aligned}$$

3.1.5.3 Struktur Lantai

Struktur lantai terdiri dari *ceramic tyle*, *cement plester*, *Cork board*, *concret*, dan *wood*. Data struktur dan ketebalan lantai sebagai berikut:

Tabel 3.4 Struktur dan bahan lantai.

Struktur	Bahan	Tebal	
		inch	feet
	1. Lapisan film udara ruangan	-	-
	2. <i>Tile, hollow clay</i>	1	0,083
	3. <i>Plester</i>	0,5	0,045
	4. <i>Cork board</i>	4	0,33
	5. <i>Concrete</i>	2	0,167
	6. <i>Kayu (wood)</i>	0,75	0,0625
	7. Lapisan film udara luar	-	-
Total		8,25	0,6875

Gambar.3.4. Struktur lantai

Pada permukaan lantai bagian luar tertutup dengan tanah, jadi permukaan lantai bagian luar tidak bersentuhan dengan lapisan udara,

sehingga $\frac{1}{f_0} = 0$. Perhitungan faktor U untuk lantai sebagai berikut:

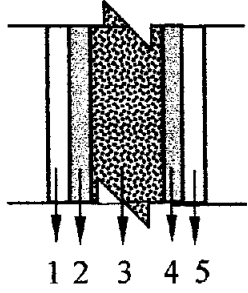
$$\begin{aligned}
 U_{\text{lantai}} &= \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{x_5}{k_5} + \frac{1}{f_0}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{1}{0,64} + \frac{0,5}{8} + \frac{4}{0,28} + \frac{2}{12} + \frac{0,75}{0,8} + 0} \\
 &= \frac{1}{0,6 + 1,56 + 0,063 + 14,29 + 0,167 + 0,94 + 0} \\
 &= \frac{1}{17,6175} \\
 &= 0,056 \text{ [BTU/hr. ft}^2 \cdot \text{°F]}.
 \end{aligned}$$

3.1.5.4 Ukuran Pintu

Pada perancangan *cold storage* ini, pintu ditempatkan sebelah utara dan berada pada lebar dinding bangunan. Perencanaan ukuran pintu

adalah 6 ft x 3 ft. *Corkboard* berlapis *aluminium foil* pada bagian luar dan dalam, merupakan struktur dari pintu yang akan digunakan. Data struktur dan ketebalan pintu sebagai berikut:

Tabel 3.5 Struktur dan bahan pintu

Struktur	Bahan	Tebal	
		inch	feet
	1. Lapisan <i>film</i> udara luar	-	
	2. <i>Aluminium foil</i>	0,1	0,0083
	3. <i>Corkboard</i>	4	0,33
	4. <i>Aluminium foil</i>	0,1	0,0083
	5. Lapisan udara ruangan	-	-
Gambar. 3.4 Struktur pintu	Total	4,2	0,35

Harga faktor U dari atap dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{pintu}} &= \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{f_0}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{0,1}{1,64} + \frac{5}{0,30} + \frac{0,1}{1,64} + \frac{1}{4}} \\
 &= \frac{1}{0,6 + 0,061 + 16,67 + 0,061 + 0,25} \\
 &= \frac{1}{17,64} \\
 &= 0,0567 [\text{BTU/hr. ft}^2 \cdot \text{°F}].
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, Maka harga faktor U tiap – tiap komponen diperoleh pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3.6 Harga faktor U struktur bangunan

Faktor U Komponen	Harga U
Dinding	0,0313 BTU/hr.ft ² .°F.
Atap	0,0323 BTU/hr.ft ² .°F.
Lantai	0,0568 BTU/hr.ft ² .°F.
Pintu	0,0567 BTU/hr.ft ² .°F.

Dari ukuran insulasi bahan bangunan yang telah direncanakan, maka dapat ditentukan ukuran bagian dalam ruangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sisi panjang} &= \text{Ukuran panjang luar} - (2 \times \text{tebal dinding}) \\ &= 19,68 - (2 \times 1,16) = 17,36 \text{ ft.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi lebar} &= \text{Sisi lebar} - (2 \times \text{tebal dinding}) \\ &= 9,84 - (2 \times 1,16) = 7,52 \text{ ft.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi tinggi} &= \text{Sisi tinggi} - (\text{tebal atap} + \text{tebal lantai}) \\ &= 8,2 - (1,09 + 0,687) \\ &= 8,2 - 1,777 = 6,42 \text{ ft.} \end{aligned}$$

$$\text{Luas} = 132,04 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume} = 838,11 \text{ ft}^3$$

3.2 Perhitungan Beban Pendinginan

Panas yang menjadi beban pendinginan umumnya berasal dari berbagai sumber yang berbeda. Beban pendinginan dimaksudkan sebagai jumlah kalor harus dibuang dari ruangan yang dikondisikan untuk discrap atau ditanggulangi oleh mesin pendingin terdiri dari dua bagian yaitu:

- a) Beban pendinginan dari luar ruangan yang meliputi:

- Beban pendinginan dari struktur bangunan, yaitu dinding, atap, lantai.
 - Beban pendinginan dari pintu.
 - Beban pertukaran udara.
- b) Beban pendinginan dari dalam ruangan yang meliputi:
- Beban pendinginan dari produk yang berada dalam ruangan.
 - Beban pendinginan dari peralatan yang terpasang dalam ruangan.
 - Beban dari manusia yang berada dalam ruangan.

Sumber panas tersebut merupakan beban pendinginan yang harus ditanggulangi oleh mesin pendingin. Perhitungan beban pendinginan beban panas tersebut dihitung tiap komponen.

3.2.1 Beban Panas Dari Dinding

Perbedaan temperatur di dalam ruangan dan luar menjadikan panas berusaha masuk kedalam ruangan yang didinginkan. Panas yang melalui dinding disebut juga sebagai beban panas. Besarnya beban panas yang melalui permukaan dinding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times \Delta t \quad (\text{Dossat, 1961: 147})$$

Dimana;

Q = Jumlah panas yang dipindahkan [BTU/Jam].

A = Luas permukaan dinding bagian luar [ft^2].

U = Angka koefisien perpindahan panas [BTU/Jam/ $^{\circ}\text{F}/\text{ft}^2$].

Δt = Perbedaan temperatur diantara dinding [$^{\circ}\text{F}$].

Untuk luas permukaan dinding, atap, lantai, dan pintu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

a. Luas permukaan dinding bagian luar

- Luas dinding sebelah Timur:

$$\begin{aligned} A_{\text{Timur}} &= 19,68 \text{ ft} \times 8,2 \text{ ft} \\ &= 161,38 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Barat:

$$\begin{aligned} A_{\text{Barat}} &= 19,68 \text{ ft} \times 8,2 \text{ ft} \\ &= 161,38 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Utara:

$$\begin{aligned} A_{\text{Utara}} &= \text{Luas dinding} - \text{luas pintu} \\ &= (9,84 \text{ ft} \times 8,2 \text{ ft}) - (6 \text{ ft} \times 3 \text{ ft}) \\ &= 80,69 \text{ ft} - 18 \text{ ft} \\ &= 62,69 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Selatan:

$$\begin{aligned} A_{\text{Selatan}} &= 8,2 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\ &= 80,69 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

b. Luas permukaan atap bagian luar:

$$\begin{aligned} A_{\text{Atap}} &= 19,68 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\ &= 193,65 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

c. Luas permukaan lantai bagian luar:

$$\begin{aligned} A_{\text{Lantai}} &= 19,68 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\ &= 193,65 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

d. Luas permukaan pintu:

$$\begin{aligned} A_{\text{Pintu}} &= 6 \text{ ft} \times 3 \text{ ft} \\ &= 18 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh luas permukaan tiap bagian luar dari bangunan dengan nilai A sebagai berikut:

Tabel 3.7 Luas permukaan tiap sisi bangunan

Nama Bagian	Dinding Barat	Dinding Timur	Dinding Utara	Dinding Selatan	Atap	Lantai	Pintu
Luas (ft ²)	161,38	161,38	62,69	80,69	193,65	193,65	18

Perencanaan pembuatan *cold storage* ditempatkan di luar ruangan dan dicat dengan warna putih, maka beban panas sinar matahari (*sun factor*) yang melalui dinding dan atap juga diperhitungkan. Dengan melihat tabel 10-7 (Dossat, 1961: 450), nilai faktor untuk atap dan dinding yang berwarna putih diperoleh dari tabel berikut:

Tabel 3.8 Radiasi sinar matahari

Bagian	Atap	Sisi Timur	Sisi Selatan	Barat
Suhu (°F)	9	4	2	4

Panas beban pendinginan yang melalui dinding, atap, lantai, dan pintu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

a. Jumlah panas melalui dinding sebelah barat:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Barat}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\ &= 161,38 \times 0,0313 \times [(91,4 - 33) + 4] \times 24 \\ &= 161,38 \times 0,037 \times 58,4 \times 24 \\ &= 8.369,03 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

b. Jumlah panas melalui dinding sebelah timur:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Timur}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 161,38 \times 0,0313 \times [(91,4 - 33) + 4] \times 24 \\
 &= 161,38 \times 0,0313 \times 58,4 \times 24 \\
 &= 7.079,75 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

c. Jumlah panas melalui dinding sebelah utara:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Utara}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 62,69 \times 0,0313 \times [(91,4 - 33) + 0] \times 24 \\
 &= 62,69 \times 0,0313 \times 58,4 \times 24 \\
 &= 2.750,22 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

d. Jumlah panas melalui dinding sebelah selatan:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Selatan}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 80,69 \times 0,0313 \times [(91,4 - 33) + 2] \times 24 \\
 &= 80,69 \times 0,0313 \times 58,4 \times 24 \\
 &= 3.539,88 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

Jumlah total panas melalui dinding (Q_{Dinding}) = 21.738,88 BTU/24 Jam.

• Jumlah beban panas melalui atap:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Atap}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 193,65 \times 0,0323 \times [(91,4 - 33) + 9] \times 24 \\
 &= 193,65 \times 0,0323 \times 58,4 \times 24 = 8.766,86 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

• Jumlah beban panas melalui pintu:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Pintu}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 18 \times 0,0567 \times [(91,4 - 33) + 2] \times 24
 \end{aligned}$$

$$= 18 \times 0,0567 \times 58,4 \times 24$$

$$= 1.430,47 \text{ BTU/24 Jam.}$$

- Jumlah beban panas melalui lantai:

$$Q_{\text{Lantai}} = A \times U \times \Delta t \times 24$$

$$= 193,65 \times 0,056 \times [77 - 33] \times 24$$

$$= 193,65 \times 0,056 \times 44 \times 24$$

$$= 11.615,28 \text{ BTU/24 Jam.}$$

Jumlah beban panas yang menjadi beban pendinginan yang mengalir melalui atap, lantai, dan pintu ($Q_{\text{Total 1}}$) sebesar:

$Q_{\text{Total 1}}$	=	Q_{Dinding}	=	21.738,88	BTU/24 Jam	
		Q_{Atap}	=	8.766,86	BTU/24 Jam	
		Q_{Lantai}	=	11.615,20	BTU/24 Jam	
		Q_{Pintu}	=	1.430,47	BTU/24 Jam	
						+
		$Q_{\text{Total 1}}$	=	43.551,41	BTU/24 Jam	

3.2.2 Beban Panas Produk

Produk yang akan disimpan dalam *cold storage* akan melepaskan kalor sampai temperatur dari produk tersebut sesuai dengan temperatur *cold storage* yang dikondisikan. Beban panas produk merupakan bagian dari beban pendinginan total, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = W \times c \times (T_2 - T_1) \quad (\text{Dossat, 1961: 153}).$$

Dimana;

$$Q = \text{Jumlah panas yang dipindahkan [BTU/Jam].}$$

W = Berat produk [lb].

c = *Specific heat* [BTU/lb/°F].

T_1 = Temperatur produk [°F].

T_2 = Temperatur ruang pendingin [°F].

Menurut para ahli botani buah okra termasuk dalam kelompok buncis hijau (*beans green*). Nilai c untuk produk dapat dilihat pada tabel 10-11 (Dossat, 1961: 455). *Specific heat* produk sebelum beku adalah 0,87 BTU/lb/°F, dengan temperatur pembekuan 29.7 °F, perhitungan beban panas produk yang akan didinginkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Produk}} &= W \times c \times (T_2 - T_1) && \text{(Dossat, 1961: 153)} \\
 &= 2.204 \times 0,87 \times (91,4 - 29,7) \\
 &= 2.204 \times 0,87 \times 61,7 \\
 &= 118.308,52 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

3.2.3 Beban Panas Respirasi

Produk yang akan di kondisikan adalah jenis sayuran sehingga akan terjadi respirasi dari produk. Harga untuk respirasi produk dapat dilihat pada tabel 10-14 (Dossat, 1961: 461). Harga *respiration heat* pada produk 0,099 BTU/lb/°F, panas respirasi dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Respirasi}} &= W \times \text{reaction heat} \times 24 \text{ hr.} && \text{(Dossat, 1961:155)} \\
 &= 2.204 \times 0,099 \times 24 \\
 &= 5.236,70 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

3.2.4 Beban Panas Pertukaran Udara

Saat pintu sedang dibuka maka sejumlah udara panas akan masuk dalam *cold storage* menggantikan sebagian udara dingin dalam ruangan. Pertukaran udara luar yang masuk ke ruangan menjadikan beban panas. Beban panas pertukaran udara dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Air change load} = \text{inside volume} \times \text{air change} \times \text{air change factor.}$$

(Dossat, 1961: 154)

Volume ukuran ruangan pendingin bagian dalam yang direncanakan adalah 838,11 ft³. Berdasarkan pada tabel 10-9A (Dossat, 1961: 452), *air change* tiap 24 jam adalah 19,53 tiap 24 Jam. Temperatur luar ruangan 91,4 °F dan kelembaban relatif 53 %, maka nilai *air change load factor* pada temperatur ruangan 33 °F ditentukan dari tabel 10-8A (Dossat, 1961: 451). Hasil interpolasi didapat nilai terdekat sebesar 2,76 BTU/ft³. Jumlah panas pertukaran udara yang harus ditanggulangi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Air Change Load} &= 838,11 \text{ ft}^3 \times 19,53 / 24 \text{ Jam} \times 2,76 \text{ BTU/ft}^3 \\ &= 45.170,55 \text{ BTU/24 jam.} \end{aligned}$$

3.2.5 Beban Panas Pekerja

Dalam melakukan aktivitas di dalam *cold storage*, para pekerja mengeluarkan panas dari tubuhnya. Panas tersebut merupakan beban pendinginan yang harus dapat ditanggulangi oleh sistem. Pekerja di dalam *cold storage* sebanyak dua kali setiap hari. Setiap kali bekerja kurang lebih

membutuhkan waktu dua jam. Beban panas dari pekerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{People}} = \text{Factor} \times \text{Number of People} \times \text{hour} \quad (\text{Dossat, 1961:155})$$

Dimana;

$$Q_{\text{People}} = \text{Panas yang dikeluarkan tubuh manusia [BTU/Jam].}$$

$$\text{Factor} = \text{Faktor untuk beban panas yang dikeluarkan dari tubuh manusia, tabel 10-15.} \quad (\text{Dossat, 1961: 462})$$

$$\text{Number of people} = \text{Jumlah pekerja di dalam cold storage.}$$

$$\text{Hour} = \text{Jumlah jam selama pekerja dalam cold storage.}$$

Nilai faktor kali beban panas tubuh manusia pada perancangan setelah dilakukan interpolasi, untuk temperatur *cold storage* 33 °F adalah 873 BTU/hr.

Beban panas yang dikeluarkan oleh pekerja sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Pekerja}} &= 873 \times 2 \times 4 \\ &= 6.984 \text{ BTU/24 jam.} \end{aligned}$$

3.2.6 Beban Panas Tambahan

Perancangan *cold storage* ini terdiri dari benda dan alat yang berada di dalam ruangan, sehingga menjadikan beban tambahan di ruangan *cold storage*. Benda tersebut terdiri dari *box* sebagai wadah, di dalamnya terdapat plastik transparan untuk mempermudah pengambilan produk setelah dikondisikan.

3.2.6.1 Beban panas rak penyimpanan.

Rak digunakan untuk menyimpan *box* yang berisi produk yang akan didinginkan di dalam *cold storage*. Rak mengeluarkan panas yang harus

ditanggulangi oleh sistem pendingin, rak penyimpanan terdiri dari tujuh tingkat dengan bahan sebagai berikut:

a) Tiang penyangga baja siku.

1. *Specific heat* baja siku sebesar 0,12 BTU/ lb °F (Ashare, 1968: 7).
2. Temperatur baja adalah 20 °C atau 68 °F (Holman, 1997: 54).
3. Masa jenis (*density*) baja berdasarkan pada tabel IV.22 adalah 7.900 Kg/m³ atau 493 lb/cu.ft (Porges, 1976: IV-22).
4. Baja siku yang digunakan untuk tiang, berukuran panjang 1,5 m, lebar 0,04 m dan tebal 0,004 m atau 4,92 ft x 0,13 ft x 0,013 ft.
5. Jumlah tiang ada 8 buah.

Volum baja yang digunakan untuk setiap tiang adalah 4 x 4,92 ft x 0,13 ft x 0,013 ft = 0,033 ft³. Jumlah tiang ada 8, maka volum yang digunakan untuk tiang: 8 x 0,033 ft³ = 0,27 ft³.

b) Penyangga sisi panjang.

1. Baja siku yang digunakan penyangga berukuran panjang 4 m, lebar 0,04 m, ketebalannya 0,004 m atau 13,12 ft x 0,13 ft x 0,0013 ft.
2. Jumlah baja siku untuk sisi panjang penyangga sebanyak 28 buah.

Volume baja yang digunakan untuk setiap penyangga sisi panjang rak yaitu 13,12 ft x 0,13 ft x 0,0013 ft = 0,022 ft³. Jumlah penyangga untuk sisi panjang rak sebanyak 28, maka volum baja yang digunakan : 28 x 0,022 ft³ = 0,62 ft³.

c) Penyangga sisi lebar

1. Baja siku penyangga sisi lebar rak, berukuran 0,8 m x 0,04 m x 0,004 m atau 2,62 ft x 0,13 ft x 0,0013 ft.
2. Jumlah baja siku untuk sisi lebar penyangga sebanyak 42 buah.

Volume baja yang digunakan setiap penyangga sisi lebar adalah $2,62 \text{ ft} \times 0,13 \text{ ft} \times 0,0013 \text{ ft} = 0,0004 \text{ ft}^3$. Jumlah penyangga sisi lebar rak 42 buah, maka volumenya $42 \times 0,0004 \text{ ft}^3 = 0,0186 \text{ ft}^3$.

d) Alas rak yang terbuat bahan baja I.

1. Alas rak terbuat dari baja I, ukuran panjang 4 m, lebar 0,04 cm dan tebalnya 0,002 m atau 13,12 ft x 0,13 ft x 0,0066 ft.
2. Jumlah baja I untuk alas rak sebanyak 56 buah.

Volume baja yang digunakan untuk alas rak adalah $13,88 \text{ ft} \times 0,13 \text{ ft} \times 0,0066 \text{ ft} = 0,0113 \text{ ft}^3$. Jumlah bahan untuk alas rak ada 56, maka volum baja yang digunakan $60 \times 0,0113 \text{ ft}^3 = 0,63 \text{ ft}^3$.

Tabel 3.9 Volume rak penyimpanan

Bagian	Tiang	Sisi panjang	Sisi lebar	Alas	Jumlah
Volum (ft ³)	0,27	0,62	0,0186	0,63	1,5386

Jumlah Volume baja yang digunakan untuk rak penyimpanan sebesar $1,5386 \text{ ft}^3$. Berat jenis baja 493 lb/cu.ft , maka berat baja yang diperlukan untuk rak adalah $493 \text{ lb/ft}^3 \times 1,5386 \text{ ft}^3 = 758,53 \text{ lb}$. Besarnya panas dari rak penyimpanan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = W \times c \times (t_2 - t_1) \quad (\text{Dossat, 1961: 153})$$

Dimana;

Q = Jumlah panas [BTU/24 Jam].

W = Berat baja total [lb].

c = *Specific heat* baja [BTU/lb °F].

t_2 = Suhu baja [°F].

t_1 = Suhu *cold storage* [°F].

Besarnya panas dari rak adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Rak}} &= 758,53 \times 0,12 \times (68 - 33) \\ &= 91,02 \times 35 \\ &= 3.185,87 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

3.2.6.2 Beban panas *box*.

Box digunakan untuk menyimpan produk yang akan didinginkan di dalam *cold storage* terbuat dari seng. *Box* akan mengeluarkan panas yang harus ditanggulangi sistem pendingin, dengan data sebagai berikut:

1. Temperatur *box* sebelum masuk *cold storage* dianggap sama dengan suhu udara luar, yaitu sebesar 33 °C atau 91,4 °F.
2. *Density* (massa jenis) seng berdasarkan pada tabel IV-22 (Porges, 1976: IV-22) adalah 444 lb/cu.ft.
3. *Specific heat* (c) seng berdasarkan pada tabel IV-20 (Porges, 1976: IV-20) adalah 0,094 BTU/lb °F.
4. Tebal seng 0,03125 Inch atau 0,0026 ft.
5. Panjang dan lebar *box* 0,4 m atau 1,31 ft.
6. Tinggi *box* 0,2 m atau 0,66 ft.

7. *Box* yang digunakan tanpa penutup dengan jumlah 280 buah.

Untuk menghitung berat total dari bahan yang digunakan, terlebih dahulu dihitung volum bahan untuk tiap *box*. Volum bahan untuk tiap *box* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} V_{\text{alas}} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tebal} \\ &= 1,31 \times 1,31 \times 0,0026 \\ &= 0,0045 \text{ ft}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{kanan,kiri}} &= 2 (\text{Panjang} \times \text{Tinggi} \times \text{Tebal}) \\ &= 2 (1,31 \times 0,66 \times 0,0026) \\ &= 0,044 \text{ ft}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{depan, belakang}} &= 2 (\text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Tebal}) \\ &= 2 (1,31 \times 0,66 \times 0,0026) \\ &= 2 \times 0,0072 \\ &= 0,044 \text{ ft}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 0,0045 + (2 \times 0,044) \\ &= 0,0045 + 0,088 \\ &= 0,0925 \text{ ft}^3. \end{aligned}$$

Volum bahan total yang digunakan adalah $280 \times 0,0925 = 25,9 \text{ ft}^3$.

Berat total bahan *box* yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \text{Density} \times \text{Volume plat seng.} \\ &= 444 \text{ lb/ ft}^3 \times 25,9 \text{ ft}^3 \\ &= 11.499,6 \text{ lb.} \end{aligned}$$

Besarnya panas dari *box* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = W \times c \times (t_2 - t_1) \quad (\text{Dossat, 1961: 153})$$

Dimana;

Q = Jumlah panas [BTU/24 Jam].

W = Berat *box* [lb].

c = *Specific heat* seng [BTU/lb °F].

t_2 = Suhu seng [°F].

t_1 = Suhu *cold storage* [°F].

Maka besarnya panas *box* adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{box}} &= 11.499,6 \times 0,094 \times (91,4 - 33) \\ &= 60.441,89 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

3.2.6.3 Beban panas dari plastik

Kantong plastik digunakan agar dalam mengeluarkan produk dari *box* lebih mudah. Beban panas dari kantong plastik yang harus diambil panasnya dihitung dengan persamaan:

$$Q = W \times c \times (t_2 - t_1) \quad (\text{Dossat, 1961: 153})$$

Dimana;

Q = Jumlah panas [BTU/24 Jam].

W = Berat kantong plastik [lb].

c = *Specific heat* dari plastik [BTU/lb °F].

t_2 = Temperatur kantong plastik [°F].

t_1 = Temperatur *cold storage* [°F].

Temperatur kantong plastik sebelum masuk *cold storage* 91,4 °F, *Specific heat* plastik 0,100 BTU/lb °F. Berat satu kantong plastik

transparan adalah 0,0002 Kg atau 0,0004409 lb. (Werlin, 1987: 345).

Jumlah kantong plastik yang diperlukan sebanyak 280 buah, berat kantong plastik keseluruhan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \text{Berat 1 buah kantong} \times \text{Jumlah kantong.} \\ &= 0,0004409 \times 280 = 0,123 \text{ lb.}\end{aligned}$$

Maka, beban panas yang dikeluarkan oleh kantong plastik adalah:

$$\begin{aligned}Q_{\text{Plastik}} &= 0,123 \times 0,1 \times (91,4 - 33) \\ &= 0,721 \text{ BTU/24 Jam.}\end{aligned}$$

Jumlah total dari beban panas tambahan

$$\begin{aligned}Q_{\text{tambahan}} &= Q_{\text{rak}} + Q_{\text{box}} + Q_{\text{Plastik}} \\ &= 3.185,87 + 60.441,89 + 0,721 \\ &= 63.628,48 \text{ BTU/24 Jam.}\end{aligned}$$

3.2.7 Beban Panas dari Peralatan Listrik

Peralatan kelistrikan juga menjadi beban pendinginan pada perancangan *cold storage* ini adalah lampu *flourescent TL (Tube Lamp)* dan motor listrik yang digunakan pada kipas evaporator.

a) Beban panas dari lampu

Di dalam *cold storage* ini, direncanakan akan menggunakan 2 buah lampu untuk penerangan yang masing-masing berdaya 40 Watt. Lama penyalaan lampu 4 jam sehari, panas dari lampu yang menjadi beban pendinginan dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{Lamp}} = \text{Wattage} \times 3,42 \times \text{hr.} \quad (\text{Dossat, 1961:155})$$

Dimana;

Q_{Lampu} = Jumlah beban panas dari lampu [BTU/24 Jam].

$Wattage$ = Daya yang digunakan [Watt].

3,42 = faktor kali [BTU/Watt/Jam].

hr = Lamanya lampu dinyalakan tiap hari [Jam].

Beban panas total dari lampu adalah sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Lampu}} &= Wattage \times 3,42 \times 4. \\ &= (2 \times 40) \times 3,42 \times 4. \\ &= 1.094,40 \text{ BTU/24 jam.} \end{aligned}$$

b) Beban panas dari *door heater*

Door heater mengeluarkan panas yang digunakan untuk mencegah membekunya air pada sekitar *frame* pintu. Daya *door heater* yang digunakan pada perancangan sebesar 150 Watt. Panas yang dikeluarkan *door heater* yang menjadi beban pendinginan sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Door heater}} &= 150 \text{ Watt} \times 3,42 \times 18 \\ &= 9.234 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

c) Beban panas *humidifier*

Humidifier merupakan komponen yang berfungsi untuk menghasilkan uap air untuk menaikkan kelembaban udara ruangan (*relative humidity*). Uap air dihasilkan dengan cara memanaskan air dalam tabung elektroda pada temperatur uapnya tanpa mendidihkan air tersebut. Uap yang dihasilkan dihembuskan ke ruangan melalui evaporator. *Humidifier* akan bekerja jika

kelembaban udara ruangan berada dibawah *setpoint* dan diluar batas *sensitivity* yang telah ditentukan. Daya yang digunakan pada perancangan sebesar 100 watt, beban panas yang dikeluarkan *humidifier* sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{Humidifier} &= 100 \times 3,42 \times 18 \\ &= 6.156 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

d) Beban panas motor kipas evaporator

Motor kipas dalam perancangan ini, untuk menggerakkan kipas yang terdapat pada evaporator. Kipas ini berfungsi mensirkulasikan udara dingin maupun panas di dalam ruangan *cold storage*. Motor kipas dapat menimbulkan panas yang menjadi beban pendinginan. Besarnya panas yang dihasilkan oleh motor kipas dihitung menggunakan tabel data spesifikasi produk dari *unit cooler*, dengan data perancangan sebagai berikut:

Jumlah beban panas total (Q_T):

$Q_T = Q_{Total}$	$= 43.551,41$	BTU/24 Jam
Q_{Produk}	$= 118.308,52$	BTU/24 Jam
$Q_{Respirasi}$	$= 5.507,79$	BTU/24 Jam
$Q_{Air\ change\ load}$	$= 45.170,55$	BTU/24 Jam
$Q_{Pekerja}$	$= 6.984$	BTU/24 Jam
$Q_{Tambahan}$	$= 63.628,48$	BTU/24 jam
Q_{Lampu}	$= 1.094,40$	BTU/24 Jam
$Q_{Door\ heater}$	$= 9.234$	BTU/24 Jam
$Q_{Humidifier}$	$= 6.156$	BTU/24 Jam
Q_{Total}	$= 299.635,15$	BTU/24 Jam. +

Waktu maksimal untuk operasional sistem yang dianjurkan antara 18–20 jam (Dossat, 1961: 145), perancangan sistem *cold storage* direncanakan akan bekerja selama 18 jam. Untuk menghilangkan bunga es (*frost*) di evaporator dibutuhkan *defrost heater*. Waktu pencairan bunga es (*Defrost*) lamanya satu jam, beban panas yang harus diatasi mesin pendingin sebesar:

$$Q = \frac{\text{Total cooling load}}{\text{Desired running time}} \quad (\text{Dossat, 1961: 144})$$

$$Q = \frac{299.635,15}{18}$$

$$Q = 16.646,39 \quad \text{BTU/24 Jam. (RSH)}$$

$$Q = 16.646,39 \times 0,252 = 4.194,89 \text{ Kkal/Jam.}$$

Lihat data spesifikasi *unit cooler* (terlampir) untuk menentukan *electric defrost* dan *fan motor* yang digunakan. Dari data spesifikasi *unit cooler*, didapat data sebagai berikut:

- Daya Motor = 2 x 305 Watt.
- Motor heat = 7.252 Kkal x 3,968 = 28.775,94 BTU/24 Jam.
- *Electric defrost* = 2.610 Watt.

Maka besarnya panas dari motor kipas selama 18 jam adalah:

$$Q_{\text{Fan motor}} = \frac{28.775,94}{18} = 1.598,66 \text{ BTU/24 Jam.}$$

Jadi total beban panas yang menjadi beban pendinginan adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total}} &= 16.646,39 + 1.598,66 \\ &= 18.245,05 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

Beban keseluruhan operasional sistem harus ditingkatkan beberapa persen untuk pengamanan beban. Beban yang ditambahkan *safety factor* sebesar 5% sampai 10%. (Dossat, 1961: 155). Persentase *Safety factor* bergantung pada keperluan yang digunakan, umumnya menggunakan 10%. Dalam perancangan ini *safety factor* yang digunakan 10 %, yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= 10 \% \times Q_{\text{Total}} \\ &= 0,1 \times 18.245,05 \text{ BTU/Jam.} \\ &= 1.824,51 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

Maka beban untuk keseluruhan pada perancangan ini sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Akhir}} &= Q_{\text{Total}} + \text{safety factor.} \\ &= 18.245,05 + 1.824,51 \\ &= 20.069,56 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

3.2.8 Rekapitulasi Perolehan Panas

Analisis perhitungan beban pada *cold storage* dilakukan saat mesin beroperasi. Perhitungan beban pada perancangan *cold storage*, perolehan kalor berasal dari kalor sensibel, kalor sensibel tersebut antara lain:

1. Perolehan panas melalui bangunan meliputi; dinding, atap, lantai, pintu.
2. Perolehan panas dari produk.
3. Perolehan panas pertukaran udara.
4. Perolehan panas dari rak.
5. Perolehan panas dari lampu.
6. Perolehan panas dari orang.

7. Perolehan panas dari peralatan (motor listrik).

Berdasarkan hasil perhitungan perolehan kalor diatas, diketahui beban pendinginan dari sumber panas sebesar 20.069,56 BTU/Jam

$$Q = \frac{Q_{Aktor}}{200 \times 60} = \frac{20.069,56}{12.000} = 1,67 \text{ Ton Refrigrasi.}$$

Jadi beban panas yang harus ditanggulangi oleh sistem untuk perencanaan pembuatan *cold storage* sebesar 1,67 ton refrigrasi.