

## BAB III

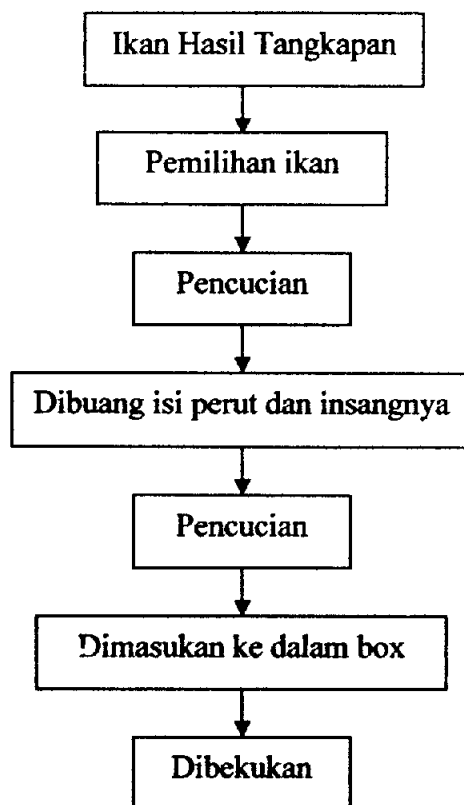
### PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN

#### A. Data Perancangan

##### 1. Karakteristik dan Kondisi Produk

Produk yang didinginkan pada perancangan *cold storage* ini adalah Ikan Tuna *Skipjack (Katsuwonus Pelamis)*. Ikan tuna disimpan pada temperatur antara -20 s/d -25°C dengan kelembaban relatif (RH) 90%. Pada kondisi tersebut, ikan dapat bertahan hingga tiga sampai empat bulan lamanya. (Braunschweiger, 1979: 48). Dalam perancangan *cold storage* ini, direncanakan ikan disimpan pada temperatur -20°C atau -4°F dengan RH 90%.

Ikan harus segera didinginkan setelah sampai di tempat pendaratan. Hal ini bertujuan agar kesegaran ikan tetap terjaga. Pertama-tama, semua ikan yang akan didinginkan dicuci dengan air bersih. Langkah kedua, kelompokan ikan menurut ukurannya. Ikan yang berukuran besar harus disiangi lebih dahulu dan dibuang isi perut maupun insangnya. Ikan yang telah dibersihkan dan dibuang isi perut maupun insangnya segera dicuci kembali dengan air bersih agar lendir, darah maupun kotoran yang menempel pada tubuh ikan hilang. Langkah selanjutnya, yaitu ikan disusun dalam kotak atau box yang telah disediakan. Box yang telah terisi dengan ikan disusun pada rak di dalam *cold storage*. Prosedur pendinginan ikan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar. 3.1 Prosedur Penyimpanan Ikan.

## 2. Kondisi Udara Luar

*Cold storage* yang direncanakan berada di ruangan terbuka dan menghadap ke arah selatan. *Cold storage* yang direncanakan tidak berada di dalam ruangan tertutup, maka temperatur luar *cold storage* dianggap tidak jauh berbeda dengan temperatur udara luar.

Berdasarkan data dari Badan Perencanaan Pembangunan dan Percepatan Ekonomi Daerah (BAPPEDA) Provinsi Gorontalo, untuk suhu minimum yang dicapai adalah 23°C dan suhu maksimum 33°C. Kelembaban relatif minimum 55% dan kelembaban relatif maksimum sebesar 90%. Dalam perancangan *cold storage* ini, dengan berdasarkan data dari BAPPEDA Provinsi Gorontalo

ditetapkan bahwa temperatur untuk udara luar *cold storage* yaitu sebesar 33°C atau 91,4°F dengan kelembaban relatif 90%.

### 3. Penggunaan Ruang

*Cold storage* ini dirancang khusus untuk penyimpanan ikan tuna *skipjack* (*katsuwonus pelamis*) dengan kapasitas 2000 Kg atau 4409,2 lb. Untuk keperluan penyimpanan diperlukan box-box. Di dalam *cold storage* yang direncanakan akan dipasang rak. Rak tersebut berfungsi untuk keperluan penyimpanan box. Rak terbuat dari bahan baja yang dipasang secara permanen.

Di dalam *cold storage* ini, direncanakan menggunakan empat buah lampu TL (*Tube Lamp*) dengan daya 40 Watt per lampu. Lampu ini berfungsi sebagai penerangan saat penyimpanan, pengambilan produk dari *cold storage* oleh pekerja. Jumlah pekerja yang bekerja dalam *cold storage* ini sebanyak dua orang, dengan waktu total kerja lima jam perhari.

### 4. Dimensi Ruang dan Struktur Bangunan

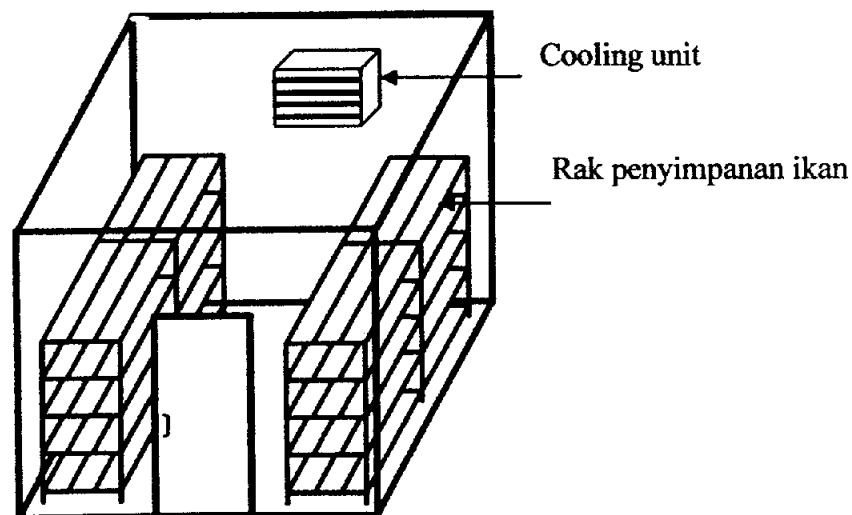
Pada perancangan ini, *cold storage* yang direncanakan dapat menampung 2.000 kg (4409,2 lb) ikan tuna *skipjack* (*katsuwonus pelamis*). Ukuran dari ikan tuna *skipjack* (*katsuwonus pelamis*) adalah panjang 50 cm (1,64 ft), lebar 12 cm (0,39 ft) dengan berat 5 kg (11,023 lb) per ekor. Ikan yang akan didinginkan diperkirakan sebanyak 500 ekor.

Ikan yang akan dibekukan dimasukkan ke dalam box. Setiap box direncanakan dapat menampung 25 kg (55,115 lb) ikan, sehingga diperlukan 80 box dalam perancangan ini. Box terbuat dari bahan aluminium. Box yang terbuat dari bahan aluminium dianggap lebih baik karena sifat perpindahan kalornya dan

relatif lebih mudah untuk dibersihkan. Ukuran dari box yang direncanakan adalah 60 x 40 x 20 cm (1,968 x 1,312 x 0,656 ft).

Di dalam *cold storage* ini, terdapat rak yang digunakan sebagai tempat penyimpanan Box. Rak yang direncanakan terbuat dari baja. Banyaknya rak ada 10 rak, lima dibagian kanan dan lima lainnya dibagian kiri. Jarak antara rak bagian kanan dan kiri adalah 2,95 ft. Panjang rak 425 cm (13,94 ft), lebar 60 cm (1,968 ft) dan tinggi total 225 cm (7,38 ft). Jarak antara baris rak satu dengan yang lain adalah 1,148 ft. Setiap baris rak menampung 10 box.

Berdasarkan pada data di atas, dimensi ruangan yang diperlukan untuk penyimpanan ikan tuna *skipjack* dengan kapasitas 2.000 Kg atau 4409,2 lb adalah 450 x 250 x 300 cm (14,76 x 8,2 x 9,84 ft). Ukuran ruangan tersebut merupakan ukuran ruangan bagian dalam, untuk ukuran ruangan bagian luar adalah 494 x 294 x 341 cm (16,203 x 9,643 x 11,184 ft).



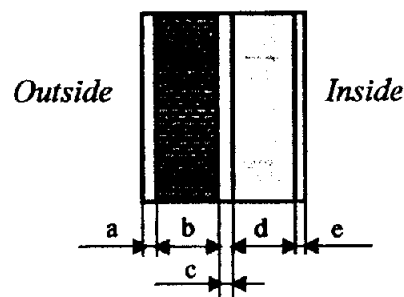
Gambar 3.2 *Cold Storage* Ikan Tuna *Skipjack*

## 5. Struktur Bahan Bangunan

### a Struktur Dinding

Struktur dinding terdiri dari batu bata (*common brick*) yang dilapisi dengan lapisan semen (*cement 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 adalah sebagai berikut:

- 1). Semen plester = 0,591 Inch
- 2). Batu batu = 4 Inch
- 3). Semen plester = 0,591 Inch
- 4). *Polyurethane* = 4 Inch
- 5). Pelat Alumunium = 0,078 Inch.



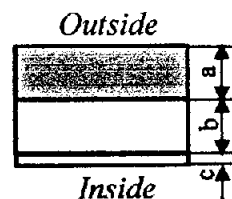
Gambar. 3.3 Struktur Dinding.

### b Struktur Atap

Struktur atap terdiri dari betonan (*concrete*), kemudian dilapisi dengan *polyurethane* pada bagian bawahnya. Pada bagian paling bawah dari atap dilapisi dengan pelat alumunium. Data struktur dan ketebalan atap adalah sebagai berikut:

- 1). Betonan = 4 Inch.
- 2). *Polyurethane* = 4 Inch.

- 3). Pelat alumunium = 0,078 Inch.

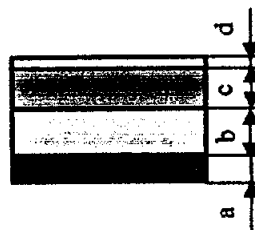


Gambar. 3.4 Struktur Atap.

### c Struktur Lantai

Struktur lantai terdiri dari: batu bata, *polyurethane*, betonan, dan semen plester. Data struktur dan ketebalan lantai adalah sebagai berikut:

- 1). Batu bata = 1,97 Inch.
- 2). Polyurethane = 4 Inch.
- 3). Betonan = 1.97 Inch.
- 4). Semen plester = 0,591 Inch.



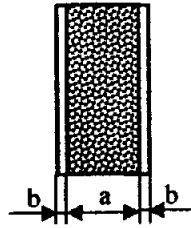
Gambar. 3.5 Struktur Lantai.

### d Ukuran Pintu

Pada perancangan *cold storage* ini, pintu ditempatkan sebelah selatan dan berada pada lebar dinding bangunan. Ukuran pintu yang direncanakan 180 cm x 90 cm (5,904 ft x 2,952 ft). Struktur pintu terdiri dari *corkboard* yang dilapisi dengan pelat alumunium pada bagian luar dan dalam. Data struktur dan ketebalan pintu adalah sebagai berikut:

- 1). Corkboard = 4 Inch.

2). Pelat alumunium = 0,078 Inch.



Gambar. 3.6 Struktur Pintu.

## B. Perhitungan Beban Pendinginan

### 1. Macam - Macam Beban Pendinginan

Panas yang menjadi beban pendinginan umumnya berasal dari bermacam-macam sumber yang berbeda. Adapun beban pendinginan tersebut adalah:

- Beban pendinginan/panas dari dinding.
- Beban pendinginan/panas dari produk yang didinginkan.
- Beban pendinginan/panas dari pertukaran udara.
- Beban pendinginan/panas dari peralatan yang ada di dalam ruangan.
- Beban pendinginan/panas dari pekerja.

Sumber panas tersebut di atas merupakan beban pendinginan yang harus dapat ditanggulangi oleh mesin pendingin. Pada perhitungan beban pendinginan, beban panas tersebut dihitung satu per satu.

#### a Beban Panas Melalui Dinding

Beban panas yang melalui dinding disebut juga sebagai beban panas bocoran, karena adanya perbedaan temperatur di dalam ruangan dan di luar.

Besarnya beban panas yang melalui permukaan dinding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

(Ricky. G, 1988: 98).

Di mana:

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

A = Luas permukaan dinding bagian dalam [ft<sup>2</sup>].

U = Angka koefisien perpindahan panas [BTU/hr/°F/ft<sup>2</sup>].

Δt = Perbedaan temperatur diantara dinding [°F].

Untuk menghitung harga koefisien perpindahan panas total (U) melalui dinding, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}}$$

Di mana:

U = Angka koefisien perpindahan panas [BTU/Jam/°F/ft<sup>2</sup>].

k<sub>1, 2, ... n</sub> = Konduktivitas panas dari material [BTU.in./hr. ft<sup>2</sup>. °F].

f<sub>i</sub> = Konveksi lapisan udara pada dinding bagian dalam, yang besarnya 1, 65 [BTU/hr. ft<sup>2</sup>. °F] (Dossat, R. J, 1978: 194).

f<sub>o</sub> = Konveksi lapisan udara pada dinding bagian luar, yang besarnya 4,0 [BTU/hr. ft<sup>2</sup>. °F] (Dossat, R. J, 1978: 194).

x = Tebal material [Inch].

Harga k dapat dicari pada tabel 10-4 (Dossat, R. J.,1978: 192) dan untuk nilai C (*Conductance*) Alumunium dapat dilihat pada tabel 8-4 (Harris, Norman. C and Conde David, :130). Nilai x/k dapat diganti dengan 1/C (Dossat, R.J., 1978:



193). Harga k dan C pada masing-masing material yang dipakai pada *cold storage* ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Faktor C Alumunium} = 1,64 \text{ [BTU/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

$$C = \frac{K}{x}$$

$$K = C \cdot x$$

$$= 1,64 \times 0,078 = 0,128 \text{ [BTU.in/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F]}$$

$$\text{Faktor k Cement plester} = 8,00 \text{ [BTU.in/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

$$\text{Faktor k Batu bata} = 5,00 \text{ [BTU.in/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

$$\text{Faktor k Concrete} = 5,00 \text{ [BTU.in/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

$$\text{Faktor k Corkboard} = 0,30 \text{ [BTU.in/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

$$\text{Faktor k Polyurethane} = 0,17 \text{ [BTU.in/hr. ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F].}$$

Maka harga faktor U untuk dinding, atap, lantai, dan pintu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Dinding

$$\begin{aligned} U_{\text{Dinding}} &= \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{x_5}{k_5} + \frac{1}{f_i}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{0,591}{8} + \frac{4}{5} + \frac{0,591}{8} + \frac{4}{0,17} + \frac{0,078}{0,128} + \frac{1}{4}} \\ &= \frac{1}{0,6 + 0,073 + 0,8 + 0,073 + 23,529 + 0,61 + 0,25} \\ &= \frac{1}{25,935} \\ &= 0,039 \text{ BTU/hr/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

- Atap

$$\begin{aligned}
 U_{Atap} &= \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{f_i}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{4}{5} + \frac{4}{0,17} + \frac{0,078}{0,128} + \frac{1}{4}} \\
 &= \frac{1}{0,6 + 0,8 + 23,529 + 0,61 + 0,25} \\
 &= \frac{1}{25,789} \\
 &= 0,039 \text{ BTU/hr/ft}^2/\text{°F}
 \end{aligned}$$

- Lantai

Dikarenakan permukaan lantai bagian luar tertutup dengan tanah, sehingga permukaan lantai bagian luar tidak bersentuhan dengan lapisan udara, maka  $1/f_o$  nilainya nol. Sehingga nilai faktor U untuk lantai adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 U_{Lantai} &= \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{f_i}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{1,97}{5} + \frac{4}{0,17} + \frac{1,97}{5} + \frac{0,591}{8} + 0} \\
 &= \frac{1}{0,6 + 0,394 + 23,529 + 0,394 + 0,073 + 0} \\
 &= \frac{1}{24,99} \\
 &= 0,04 \text{ BTU/hr/ft}^2/\text{°F}
 \end{aligned}$$

- Pintu

$$\begin{aligned}
 U_{Pintu} &= \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{f_i}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,65} + \frac{0,059}{1,64} + \frac{4}{0,30} + \frac{0,059}{1,64} + \frac{1}{4}} \\
 &= \frac{1}{0,6 + 0,035 + 13,3 + 0,035 + 0,25} \\
 &= \frac{1}{14,22} \\
 &= 0,07 \text{ BTU/hr/ft}^2/\text{°F}
 \end{aligned}$$

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

➤ Luas permukaan dinding bagian luar

- Luas dinding sebelah Barat:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Barat}} &= 14,76 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\
 &= 145,238 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Timur:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Timur}} &= 14,76 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\
 &= 145,238 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Utara:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Utara}} &= 8,2 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft} \\
 &= 80,688 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

- Luas dinding sebelah Selatan:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Selatan}} &= \text{Luas dinding} - \text{luas pintu} \\
 &= (8,2 \text{ ft} \times 9,84 \text{ ft.}) - (5,904 \text{ ft} \times 2,952 \text{ ft}) \\
 &= 80,688 \text{ ft} - 17,429 \text{ ft} \\
 &= 63,259 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

➤ Luas permukaan atap bagian luar:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Atap}} &= 14,76 \text{ ft} \times 8,2 \text{ ft} \\
 &= 121,032 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

➤ Luas permukaan lantai bagian luar:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Lantai}} &= 14,46 \text{ ft} \times 8,2 \text{ ft} \\
 &= 121,032 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

➤ Luas permukaan pintu:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Pintu}} &= 5,904 \text{ ft} \times 2,952 \text{ ft} \\
 &= 17,429 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

Karena *cold storage* yang direncanakan berada di luar ruangan, maka beban panas dari sinar matahari yang melalui dinding dan atap juga diperhitungkan. Dengan melihat tabel 10-7 (Dossat, R. J 1961: 450). Dari tabel 10-7, untuk dinding dan atap yang berwarna putih diperoleh nilai faktor sebagai berikut:

- Dinding Timur = 4 °F.
- Dinding Selatan = 2 °F.
- Dinding Barat = 4 °F.
- Atap = 9 °F.

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

➤ Jumlah panas melalui dinding sebelah Barat:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Barat}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 145,238 \times 0,039 \times [91,4 - (-4) + 4] \times 24 \\
 &= 145,238 \times 0,039 \times 99,4 \times 24 \\
 &= 13.512,711 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah panas melalui dinding sebelah Timur:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Timur}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 145,238 \times 0,039 \times [91,4 - (-4) + 4] \times 24 \\
 &= 145,238 \times 0,039 \times 99,4 \times 24 \\
 &= 13.512,711 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah panas melalui dinding sebelah Utara:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Utara}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 80,688 \times 0,039 \times [91,4 - (-4) + 0] \times 24 \\
 &= 80,688 \times 0,039 \times 95,4 \times 24 \\
 &= 7.204,986 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah panas melalui dinding sebelah Selatan:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Selatan}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\
 &= 63,259 \times 0,039 \times [91,4 - (-4) + 2] \times 24 \\
 &= 63,259 \times 0,039 \times 97,4 \times 24 \\
 &= 5.767,095 \text{ BTU/24 Jam.}
 \end{aligned}$$

Jumlah panas yang melalui dinding ( $Q_{\text{Dinding}}$ ) adalah 39.997,503 BTU/24 Jam.

➤ Jumlah beban panas melalui Atap:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Atap}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\ &= 121,032 \times 0,039 \times [91,4 - (-4) + 9] \times 24 \\ &= 121,032 \times 0,039 \times 104,4 \times 24 \\ &= 11.827,053 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

➤ Jumlah beban panas melalui Lantai:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Lantai}} &= A \times U \times \Delta t \times 24 \\ &= 121,032 \times 0,04 \times [82,4 - (-4)] \times 24 \\ &= 121,032 \times 0,04 \times 86,4 \times 24 \\ &= 10.038,878 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

➤ Jumlah beban panas melalui Pintu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Pintu}} &= A \times U \times (\Delta t + \text{Sun factor}) \times 24 \\ &= 17,429 \times 0,07 \times [91,4 - (-4) + 2] \times 24 \\ &= 17,429 \times 0,07 \times 97,4 \times 24 \\ &= 2.851,942 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total 1}} &= Q_{\text{Dinding}} + Q_{\text{Atap}} + Q_{\text{Lantai}} + Q_{\text{Pintu}} \\ &= 39.997,503 + 11.827,053 + 10.038,878 + 2.851,942 \\ &= 64.715,376 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

## b Beban Panas Produk

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

$$Q = m \times c \times \Delta t$$

(Dossat, R.J, 1961: 153).

Di mana:

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

$m$  = Berat produk [lb].

$c$  = Panas spesifik [BTU/lb/°F].

$\Delta t$  = Perbedaan temperatur antara produk dengan ruang pendingin [°F].

Nilai  $c$  untuk produk ikan dapat dilihat pada tabel 10-11 (Dossat, R. J, 1978: 210). Panas spesifik untuk ikan sebelum beku adalah 0,76 BTU/lb/°F, sedangkan panas spesifik setelah beku adalah 0,41 BTU/lb/°F. Kalor laten ikan adalah 101 BTU/lb. Beban panas dari produk yang menjadi beban pendingin adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{before freezing}} &= m \times c \times \Delta t \\ &= 4.409,2 \times 0,76 \times (91,4-28) \\ &= 212.452,89 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Latent}} &= m \times \ell \\ &= 4.409,2 \times 101 \end{aligned}$$

$$= 445.329,2 \text{ BTU/24 Jam.}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{After freezing}} &= m \times c \times \Delta t \\ &= 4409,2 \times 0,41 \times (28 - (-4)) \\ &= 57.848,704 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Produk}} &= 212.452,89 + 445.329,2 + 57.848,704 \\ &= 715.630,79 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah beban panas dari produk yang harus diatasi mesin pendingin sebesar **715.630,79 BTU/24 Jam.**

### **c Beban Panas dari Pertukaran Udara**

Beban panas pertukaran udara terjadi karena adanya udara luar yang masuk ke ruangan. Pada saat pintu sedang dibuka, sejumlah udara akan masuk ke dalam *cold storage* menggantikan sebagian udara dingin yang ada di dalam ruangan.

Besarnya beban panas dari pertukaran udara, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{Air Change Load} = \text{Inside Volume} \times \text{Air Change} \times \text{Air Change Factor.}$$

(Dossat, R. J. 1978: 204).

Dimensi ruangan pendingin bagian dalam yang direncanakan adalah 14,76 x 8,2 x 9,84 ft, sehingga nilai *inside volume* nya adalah 1.190,954 ft<sup>3</sup>. Berdasarkan pada tabel 10 – 8B (Dossat, R. J. 1978: 205) didapat nilai *Air Change* per 24 jam adalah 12,5 per 24 Jam.

Temperatur luar ruangan 91,4°F dan kelembaban relatif 90%, maka nilai *air change load factor* pada temperatur ruangan -4°F dapat ditentukan dari tabel 10-7B (Dossat, R. J 1978: 204). Dari hasil interpolasi didapat nilai terdekat yaitu



sebesar 3,66 BTU/ft<sup>3</sup>. Maka jumlah panas dari pertukaran udara yang harus ditanggulangi adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Air Change Load} &= 1.190,954 \text{ ft}^3 \times 12,5 \text{ per 24 Jam} \times 3,66 \text{ BTU/ft}^3 \\ &= 54.486,145 \text{ BTU/24 jam.} \end{aligned}$$

#### d Beban panas dari 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 bekerja di dalam *cold storage* sebanyak dua kali setiap hari. Setiap kali bekerja kurang lebih membutuhkan waktu dua setengah jam. Beban panas dari pekerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{People}} = \text{Factor (Table 10-15)} \times \text{Number of People} \times \text{hr}$$

(Dossat, R.J. 1978: 214).

Di mana:

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

$Factor$  = Faktor kali untuk beban panas yang dikeluarkan oleh tubuh manusia, yang diambil dari tabel 10-15 (Dossat, R. J, 1978: 214).

$Number\ of\ People$  = Jumlah pekerja yang ada di dalam *cold storage*.

$hr$  = Jumlah jam pekerja di dalam *cold storage*.

Faktor kali beban panas tubuh manusia pada perancangan ini, setelah dilakukan interpolasi pada tabel 10-15 untuk temperatur *cold storage*  $-4^{\circ}\text{F}$  adalah 1340. Maka beban panas yang dikeluarkan oleh pekerja sebesar:

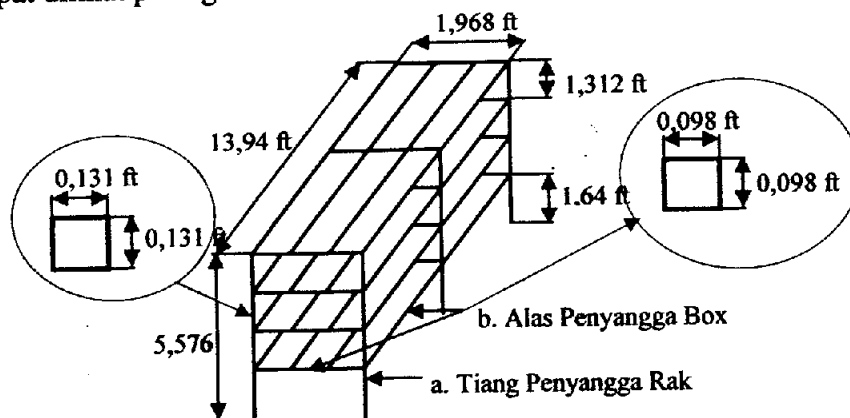
$$\begin{aligned} Q_{\text{Pekerja}} &= 1.340 \times 2 \times 5 \\ &= 13.400 \text{ BTU/24 jam.} \end{aligned}$$

#### e Beban Panas Tambahan

Beban panas tambahan yang ada pada perancangan *cold storage* ini terdiri dari benda/alat yang ada di dalam ruangan *cold storage*. Benda tersebut terdiri dari box sebagai wadah, yang di dalamnya terdapat plastik transparan untuk mempermudah dalam pengambilan ikan setelah ikan dibekukan. Perhitungan beban panas tambahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

##### 1). Beban panas dari rak penyimpanan.

Rak digunakan untuk menyimpan box yang berisi ikan yang akan didinginkan di dalam *cold storage*. Rak mengeluarkan panas yang harus ditanggulangi oleh sistem pendingin. Rak penyimpanan terdiri dari dua bagian yang dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.7. Rak Penyimpanan

- a. Tiang penyangga rak yang terbuat dari baja kotak.
- b. Alas penyangga box yang terbuat dari bahan baja kotak.

Data Tiang, penyangga dan alas box, adalah sebagai berikut:

- Baja kotak yang digunakan untuk tiang penyangga rak berjumlah 12 batang, dengan ukuran panjang total 2040 cm atau (66,912 ft).
- Penyangga box terbuat dari besi siku dengan panjang total:
  - Alas penyangga box sisi panjang : 6.608 cm (216,742 ft)
  - Alas penyangga box sisi lebar : 624 cm (20,467 ft)
- Panas jenis dari baja adalah 0,12 BTU/ lb °F (Ashare, 1968: 7).
- Temperatur baja kotak adalah 20 °C atau 68 °F (J.P Holman,1997: 54).
- Masa jenis (*density*) baja berdasarkan pada tabel IV.22 adalah 7.900 Kg/m<sup>3</sup> atau 493 lb/cu.ft (John Porges, 1976: IV-22).

Volum baja yang digunakan untuk tiang penyangga rak adalah 66.912 ft x 0,13 ft x 0,13 ft x 0,009 ft = 0,01 ft<sup>3</sup>.

Volum baja yang digunakan untuk setiap penyangga box sisi panjang alas adalah 216,742 ft x 0,098 ft x 0,098 ft x 0,009 ft = 0,018 ft<sup>3</sup>.

Volum baja yang digunakan untuk setiap penyangga box sisi lebar alas adalah 20,467 ft x 0,098 ft x 0,098 ft x 0,009 ft = 0,001 ft<sup>3</sup>.

Volum total baja yang digunakan adalah 0,01 ft<sup>3</sup> + 0,018 ft<sup>3</sup> + 0,001 ft<sup>3</sup> = 0,029 ft<sup>3</sup>. Diketahui berat jenis baja 493 lb/cu.ft, maka berat baja yang diperlukan untuk rak adalah 493 lb/ft<sup>3</sup> x 0,029 ft<sup>3</sup> = 14,297 lb.

Besarnya panas dari rak dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini:

$$Q = w \times c \times (t_2 - t_1)$$

(Dossat, R. J, 1961: 153).

Di mana:

- Q = Jumlah panas [BTU/24 Jam].
- W = Berat baja total [lb].
- c = Panas jenis dari baja [BTU/lb °F].
- t<sub>2</sub> = Temperatur baja [°F].
- t<sub>1</sub> = Temperatur *cold storage* [°F].

Besarnya panas dari rak adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Rak}} &= 14,297 \times 0,12 \times [68 - (-4)] \\ &= 123,526 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

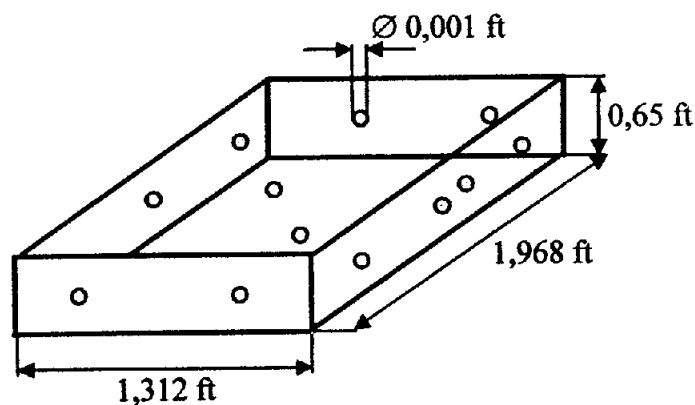
## 2). Beban panas dari box.

Box digunakan untuk menyimpan ikan yang akan didinginkan di dalam *cold storage*. Box mengeluarkan panas yang harus ditanggulangi oleh sistem pendingin. Box dibuat dari bahan alumunium.

Data box yang terbuat dari pelat alumunium, adalah sebagai berikut:

- *Specific heat (c)* Alumunium berdasarkan pada tabel IV-20 (John Porges, 1976: IV-20) adalah 0,218 BTU/lb°F.
- *Density (massa jenis) alumunium* berdasarkan pada tabel IV-22 (John Porges, 1976: IV-22) adalah 168 lb/cu.ft.
- *Temperatur alumunium sebelum masuk cold storage dianggap sama dengan temperatur udara luar, yaitu sebesar 33°C atau 91,4°F.*

- *Tebal alumunium 0.2 cm atau 0.0065 ft.*
- *Box yang digunakan tanpa penutup.*
- *Panjang box 60 cm atau 1,968 ft.*
- *Lebar box 40 cm atau 1,312 ft.*
- *Tinggi box 20 cm atau 0,65 ft.*
- *Banyaknya box yang diperlukan ada 80 box.*



Gambar. 3.8. Box Penyimpanan Ikan

Untuk menghitung berat total dari alumunium yang digunakan, terlebih dahulu dihitung volum alumunium yang digunakan untuk tiap box.

Volum Alumunium untuk tiap box dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{alas}} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tebal} \\
 &= 1,968 \times 1,312 \times 0,0065 \\
 &= 0,017 \text{ cu.ft.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{kanan,kiri}} &= 2 (\text{Panjang} \times \text{Tinggi} \times \text{Tebal}) \\
 &= 2 (1,968 \times 0,65 \times 0,0065) \\
 &= 2 \times 0,008
 \end{aligned}$$

$$= 0,016 \text{ cu.ft.}$$

$$V_{\text{depan, belakang}} = 2 (\text{Lebar} \times \text{Tinggi} \times \text{Tebal})$$

$$= 2 (1,312 \times 0,65 \times 0,0065)$$

$$= 2 \times 0,005$$

$$= 0,01 \text{ cu.ft.}$$

$$V_{\text{total}} = 0,017 + 0,016 + 0,01$$

$$= 0,043 \text{ cu.ft.}$$

Volum aluminium total yang digunakan adalah  $80 \times 0,043 = 3,44 \text{ cu.ft.}$

Berat total aluminium yang digunakan adalah:

$$\text{Berat} = \text{Density} \times \text{Volum plat Aluminium.}$$

$$= 168 \text{ lb/cu.ft} \times 3,44 \text{ cu.ft}$$

$$= 577,92 \text{ lb.}$$

Besarnya panas dari box dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini:

$$Q = w \times c \times (t_2 - t_1)$$

(Dossat, R. J, 1961: 153).

Di mana:

$$Q = \text{Jumlah panas [BTU/24 Jam].}$$

$$W = \text{Berat box [lb].}$$

$$c = \text{Panas jenis dari aluminium [BTU/lb } ^\circ\text{F].}$$

$$t_2 = \text{Temperatur aluminium [} ^\circ\text{F].}$$

$$t_1 = \text{Temperatur } \textit{cold storage} \text{ [} ^\circ\text{F].}$$

Besarnya panas dari box adalah:

$$Q_{\text{box}} = 577,92 \times 0,218 \times [91,4 - (-4)]$$

$$= 12.019,117 \text{ BTU/24 Jam.}$$

### 3). Beban panas dari plastik

Kantong plastik digunakan agar dalam mengeluarkan ikan dari box lebih mudah. Kantong plastik merupakan beban panas yang harus diambil panasnya. Beban panas dari kantong plastik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = W \times c \times (t_2 - t_1)$$

(Dossat, R. J, 1961: 153).

Di mana:

Q = Jumlah panas [BTU/24 Jam).

W = Berat kantong plastik [lb].

c = Panas jenis dari plastik [BTU/lb °F].

t<sub>2</sub> = Temperatur kantong plastik [°F].

t<sub>1</sub> = Temperatur *cold storage* [°F].

Temperatur kantong plastik sebelum masuk *cold storage* adalah 91,4°F, panas jenis dari plastik adalah 0,100 BTU/lb °F. Berat satu buah kantong plastik transparan adalah 0,0002 Kg atau 0,0004409 lb. (Werlin, S., 1987: 345).

Jumlah kantong plastik yang diperlukan sebanyak 100 buah. Berat kantong plastik keseluruhan adalah:

$$\text{Berat} = \text{Berat 1 buah kantong} \times \text{Jumlah kantong.}$$

$$= 0,0004409 \times 100$$

$$= 0,04409 \text{ lb.}$$

Maka, beban panas yang dikeluarkan oleh kantong plastik adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Plastik}} &= 0,04409 \times 0,1 \times [91,4 - (-4)] \\ &= 0,04409 \times 0,1 \times 95,4 \\ &= 0,42 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban panas tambahan} &= Q_{\text{rak}} + Q_{\text{box}} + Q_{\text{Plastik}} \\ &= 123,526 + 12.019,117 + 0,42 \\ &= 12.143,063 \text{ BTU/24 Jam.} \end{aligned}$$

#### f **Beban Panas dari Peralatan Listrik**

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

##### 1). Beban panas dari lampu

Di dalam *cold storage* ini, direncanakan akan menggunakan empat buah lampu TL untuk penerangan yang masing-masing berdaya 40 Watt. Panas dari lampu TL yang menjadi beban pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{Lampu}} = \text{Watt} \times 3,42 \times \text{hr.}$$

(Dossat, R. J. 1978:214).

Di mana:

$$Q_{\text{Lampu}} = \text{Jumlah beban panas dari lampu [BTU/24 jam].}$$

$$\text{Watt} = \text{Daya lampu yang digunakan [Watt].}$$

$$3,42 = \text{faktor kali [BTU/Watt/Jam].}$$

$$\text{hr} = \text{lamanya lampu dinyalakan tiap hari.}$$



Pada perancangan *cold storage* ini menggunakan empat buah lampu, dengan lama penyalan 5 jam tiap hari. Beban panas total dari lampu adalah sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Lampu}} &= \text{Watt} \times 3,42 \times 5. \\ &= (4 \times 40) \times 3,42 \times 5. \\ &= \mathbf{2.736 \text{ BTU/24 jam.}} \end{aligned}$$

2). Beban panas dari *door heater*

*Door heater* mengeluarkan panas yang digunakan untuk mencegah air yang ada disekitar *frame* pada pintu membeku. Daya *door heater* yang digunakan pada perancangan sebesar 100 Watt. Beban panas yang dikeluarkan oleh *door heater* yang menjadi beban pendinginan adalah sebesar:

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

3). Beban panas dari motor kipas evaporator

Motor kipas dalam perancangan ini, untuk menggerakkan kipas yang terdapat pada evaporator. Kipas ini berfungsi untuk 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 dapat dihitung dengan menggunakan tabel data spesifikasi produk dari *unit cooler*, dengan data perancangan sebagai berikut:

4). Jumlah beban panas total

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{\text{Total 1}} + Q_{\text{Produk}} + Q_{\text{Air Change Load}} + Q_{\text{Pekerja}} + Q_{\text{Tambahan}} \\ &\quad + Q_{\text{Lampu}} + Q_{\text{Door heater}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 64.715,376 + 715.630,79 + 54.486,145 + 13.400 + \\
 &\quad 12.143,063 + 2.736 + 6.156. \\
 &= \mathbf{869.267,36 \text{ BTU/24 Jam.}}
 \end{aligned}$$

Maksimal waktu operasi yang dianjurkan antara 18 – 20 jam (Dossat, R. J 1978: 184) dan untuk waktu pencairan bunga es (*Defrost*) lamanya satu sampai dua jam. Dalam perancangan *cold storage* ini, direncanakan sistem akan bekerja selama 18 jam, sedangkan untuk pencairan bunga es selama kurang lebih satu jam setiap harinya. Maka beban panas yang harus diatasi oleh mesin pendingin adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{Q_T}{18} \\
 &= \frac{869.267,36 \text{ (BTU/24 Jam)}}{18} \\
 &= 48.292,631 \text{ BTU/Jam}
 \end{aligned}$$

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

- a). Daya Motor = 3 x 250 Watt.
- b). *Motor heat* = 88.803,84 BTU/24 Jam.
- c). *Electric defrost* = 8440 Watt.

Maka besarnya panas dari motor kipas selama 18 jam adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{motor kipas}} &= \frac{88.803,84}{18} \\
 &= 4.933,546 \text{ BTU/Jam}
 \end{aligned}$$

Jadi total beban panas yang menjadi beban pendinginan adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total}} &= 48.292,631 + 4.933,546 \\ &= 53.226,177 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

Untuk pengamanan ditambahkan *safety factor* sebesar 5% sampai dengan 10%. (Ricky. G. 1988: 113). Dalam perancangan ini, diambil 10%, yakni sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= 10\% \times Q_{\text{Total}} \\ &= 0,1 \times 53.226,177 \text{ BTU/Jam.} \\ &= \mathbf{5.322,617 \text{ BTU/Jam.}} \end{aligned}$$

Maka  $Q_{\text{Akhir}}$  di dapat :

$$\begin{aligned} Q_{\text{Akhir}} &= Q_{\text{Total}} + \text{safety factor.} \\ &= 53.226,177 + 5.322,617 \\ &= \mathbf{58.548,794 \text{ BTU/Jam.}} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Thermodinamika

Perhitungan thermodinamika digunakan untuk mengetahui sifat-sifat refrigeran di dalam sistem, terutama di dalam evaporator dan kondensor. Refrigeran yang digunakan pada perancangan *cold storage* ini adalah R-502, sedangkan mesin pendingin yang digunakan adalah mesin pendingin sistem kompresi uap.

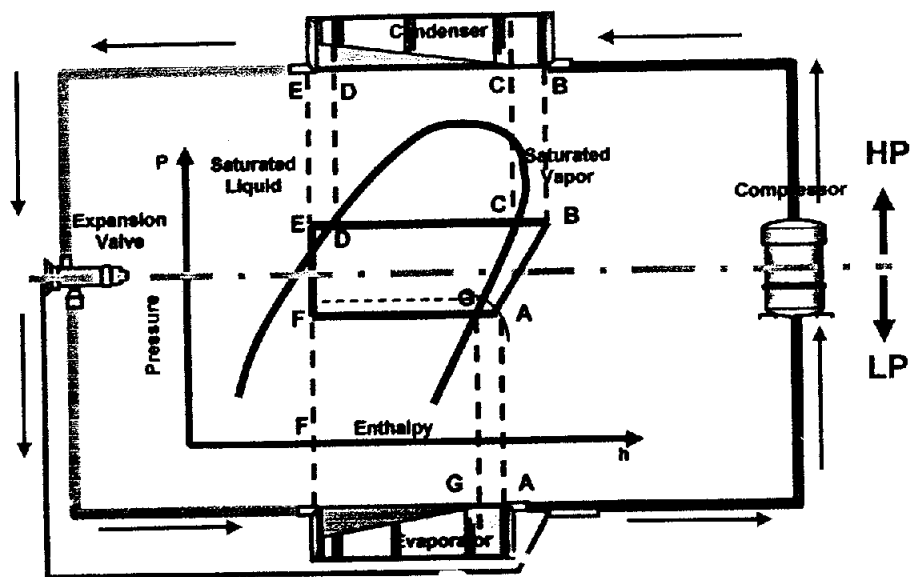
Pada perhitungan thermodinamika dari sistem pendingin ini, ada beberapa ketentuan yang diperlukan, yaitu:

- a Untuk ruang pendingin yang mempunyai temperatur rendah, pada umumnya menggunakan evaporator jenis *force convection evaporator*. Perbedaan

temperatur antara ruang pendingin dengan refrigeran di dalam evaporator, dengan RH 90% menurut Tabel 11.6 sebesar  $10^{\circ}\text{F}$ . (Jordan, 1973: 291), sehingga temperatur refrigerannya adalah  $= -(4) - 10^{\circ}\text{F} = -14^{\circ}\text{F}$ .

- b Proses yang terjadi di evaporator dianggap pada proses tekanan tetap (Isobar).
- c Temperatur kondensor adalah temperatur refrigeran ditambah rata-rata perbedaan temperatur antara refrigeran dengan medium pendinginan yang dipakai pada kondensor.
- Kondenser yang digunakan dalam perancangan *cold storage* ini adalah *air cooled condenser* sehingga temperaturnya kurang lebih  $90^{\circ}\text{F}$ . (Dossat, 1961: 247).
  - Perbedaan temperatur rata-rata antara refrigeran dengan medium pendinginan yang dipakai pada kondensor adalah  $15^{\circ}\text{F}$  (Dossat, R. J, 1961: 247), sehingga temperatur kondenser menjadi  $90 + 15 = 105^{\circ}\text{F}$ . Pada umumnya temperatur kondensasi berada di atas temperatur kondensor, dengan demikian temperatur kondensasi diperkirakan pada temperatur  $110^{\circ}\text{F}$ .
- d Pada proses *sub-cooling*, refrigeran sebelum masuk ke katup ekspansi diperkirakan temperaturnya kurang  $9^{\circ}\text{F}$  dan pada proses *super heating* sebelum masuk ke kompresor temperaturnya bertambah  $9^{\circ}\text{F}$ .

## 1). P-H Diagram



Gambar. 3.9 P-H Diagram.

Keterangan:

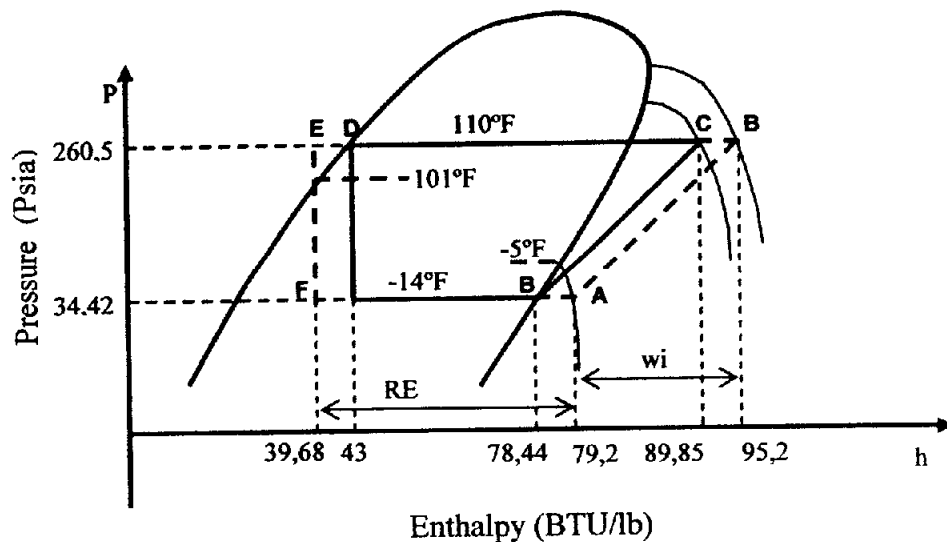
- A – B = Proses kompresi pada kompresor.
- B – E = Proses pengeluaran panas pada kondensor secara Isobar.
- C – D = Proses proses kondensasi pada kondensor.
- D – E = Proses *sub-cooling* 9°F setelah melewati kondensor.
- E – F = Proses ekspansi pada katup ekspansi.
- F – G = Proses penyerapan panas oleh refrigeran di evaporator.
- G – A = Proses *super heating* 9°F sebelum ke kompresor.

Dalam menentukan harga tekanan dan enthalpy dari masing-masing titik pada gambar P-H diagram di atas, dapat diperoleh dari gambar P-H diagram untuk refrigeran jenis 502 (terlampir) dan juga Tabel 16-5 (Dossat, R. J., 1978:

382). Dari gambar diagram P-H untuk refrigeran 502 dan Tabel 16-5 diperoleh data-data sebagai berikut:

- Untuk temperatur refrigeran di evaporator  $-14^{\circ}\text{F}$ , mempunyai tekanan 34,42 Psia. Dengan adanya *superheating* sebesar  $9^{\circ}\text{F}$ , maka temperatur refrigeran menjadi  $-5^{\circ}\text{F}$ . Pada temperatur  $-5^{\circ}\text{F}$ , untuk R502 mempunyai tekanan 41,53 Psia.
- Untuk temperatur di kondensor  $110^{\circ}\text{F}$ , mempunyai tekanan 260,5 Psia. Dengan adanya *sub-cooling* sebesar  $9^{\circ}\text{F}$ , maka temperatur refrigeran menjadi  $101^{\circ}\text{F}$ . Pada temperatur  $101^{\circ}\text{F}$ , untuk R502 mempunyai tekanan 232,1 Psia.

Untuk titik-titik gambar P-H diagram di atas, jika menggunakan P-H diagram untuk refrigeran 502, diperoleh hasil sebagai berikut:



## a). Titik D

Pada titik ini, keadaan refrigeran telah mengalami proses kondensasi. Keadaan *saturated liquid* terjadi di titik ini, yaitu pada temperatur 110°F dengan tekanan 260,5 Psia, maka:

$$H_D = 43 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_D = 260,5 \text{ Psia.}$$

## b). Titik E

Pada titik ini, keadaan refrigeran setelah mengalami proses pendinginan lanjut (*sub-cooling*) sebesar 9°F yaitu sebelum refrigeran diekspansikan di katup ekspansi. Pada proses ini, tekanan refrigeran dianggap masih tetap. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_E = 39,68 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_E = 260,5 \text{ Psia.}$$

## c). Titik F

Pada titik ini, keadaan refrigeran setelah mengalami proses ekspansi di dalam katup ekspansi. Refrigeran akan masuk ke dalam evaporator. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_F = 39,68 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_F = 34,42 \text{ Psia.}$$

## d). Titik G

Pada titik ini, refrigeran telah mengalami proses penguapan di dalam evaporator dengan menyerap panas dari produk dan juga udara sekelilingnya.

Pada titik ini keadaan *saturated* tercapai pada temperatur  $-14^{\circ}\text{F}$  dengan tekanan tetap. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_G = 78,44 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_G = 34,42 \text{ Psia.}$$

e). Titik A

Pada titik ini, refrigeran telah mengalami proses pemanasan lanjut (*super heating*) sebesar  $9^{\circ}\text{F}$  sebelum masuk ke kompresor. Proses ini masih dianggap pada tekanan tetap. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_A = 79,2 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_A = 34,42 \text{ Psia.}$$

f). Titik B

Pada titik ini, keadaan refrigeran telah mengalami proses kompresi di dalam kompresor. Karena proses tersebut, tekanan dan temperatur refrigeran akan naik. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_B = 95,2 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_B = 260,5 \text{ Psia.}$$

g). Titik C

Pada titik ini, refrigeran dalam bentuk uap jenuh (*saturated vapor*). Proses ini terjadi pada tekanan yang sama dengan titik B. Selanjutnya refrigeran akan masuk di kondensor. Keadaan pada titik ini adalah:

$$H_C = 89,85 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_C = 260,5 \text{ Psia.}$$



## 2). Analisis Matematis

a). Besarnya efek pendinginan (*Refrigeration Effect*) adalah:

$$\begin{aligned} RE &= H_A - H_F \\ &= 79,2 - 39,68 \\ &= 39,52 \text{ BTU/lb.} \end{aligned}$$

b). Panas refrigeran akibat kompresi adalah:

$$\begin{aligned} w_i &= H_B - H_A \\ &= 95,2 - 79,2 \\ &= 16 \text{ BTU/lb.} \end{aligned}$$

c). Panas yang dibuang oleh kondensor adalah:

$$\begin{aligned} q_c &= H_B - H_E \\ &= 95,2 - 39,68 \\ &= 55,52 \text{ BTU/lb.} \end{aligned}$$

d). Kestimbangan panas (*Heat Balance*) adalah:

$$\begin{aligned} RE + w_i &= q_c \\ 39,52 \text{ BTU/lb} + 16 \text{ BTU/lb} &= 55,52 \text{ BTU/lb.} \end{aligned}$$

e). Banyaknya refrigeran yang disirkulasikan per menit ton kapasitas pendingin

menurut Jordan, 1973: 69, adalah:

$$\begin{aligned} m r &= \frac{200}{RE} \\ &= \frac{200}{39,52} \left[ \frac{\text{lb}}{\text{min}} \right] \\ &= \frac{200 \times 60}{39,52} [\text{lb}] \\ &= 303,64 \text{ lb.} \end{aligned}$$

f). Koefisien Unjuk Kerja (*Coeffisien of performance*) adalah:

$$\begin{aligned} COP &= \frac{RE}{w_i} \\ &= \frac{39,52 \text{ BTU/lb.}}{16 \text{ BTU/lb.}} \\ &= 2,5. \end{aligned}$$

g). Beban pendingin dalam TR (*Ton of Refrigerant*) adalah:

$$\begin{aligned} TR &= \frac{Q_{Akhir}}{200 \times 60} \\ &= \frac{58.548,794 \text{ BTU / Jam}}{12000} \\ &= 4,879 \text{ TR} \end{aligned}$$

h). Jumlah refrigeran yang harus dialirkan tiap jam adalah:

$$\begin{aligned} M &= \frac{200 \times TR}{RE} \left[ \frac{\text{lb}}{\text{min}} \right] \\ &= \frac{200 \times 4,879}{39,52} \\ &= 24,691 \text{ lb/min} = 1481,46 \text{ lb/Jam} \end{aligned}$$

i). Efek pendinginan tiap jam adalah:

$$\begin{aligned} Q_e &= M \times RE \\ &= 1481,46 \text{ lb/Jam} \times 39,52 \text{ BTU/lb} \\ &= 58.547,299 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

j). Kerja kompresi tiap jam adalah:

$$\begin{aligned} W_i &= M \times w_i \\ &= 1481,46 \text{ lb/Jam} \times 16 \text{ BTU/lb} \\ &= 23.703,36 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

k). Jumlah panas yang harus dibuang tiap jam adalah:

$$\begin{aligned} Q_c &= M \times q_c \\ &= 1481,46 \text{ lb/Jam} \times 55,52 \text{ BTU/lb} \\ &= 82.250,659 \text{ BTU/Jam.} \end{aligned}$$

l). Besarnya Daya Teoritis Kompresor ( $N_t$ ) adalah:

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{4,717}{COP} \\ &= \frac{4,717}{2,5} \\ &= 1,88 \text{ HP / Ton.} \end{aligned}$$

m). Besar Daya Kompresor yang diperlukan dalam perancangan *cold storage* ini, adalah:

$$\begin{aligned} N_t &= 1,88 \times \text{TR} \\ &= 1,88 \times 4,879 \\ &= 9 \text{ HP.} \end{aligned}$$

n). Besar *Theoretical Piston Displacement* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V_t = \frac{200}{RE} \cdot v_g$$

( R.C Jordan and Priester, 1973: 70).

Di mana:

$$\begin{aligned} V_g &= \text{Spesifik volum R 502 pada temperatur penguapan} = \\ &1,1925 \text{ cu.ft/lb (Dossat, R.J., 1978: 382).} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} V_t &= \frac{200}{RE} \cdot v_g \\ &= \frac{200}{39,52} \cdot 1,1925 \\ &= 6,03 \text{ cuft.} \end{aligned}$$

