

# PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN PADA COLD STORAGE UNTUK PENYIMPANAN IKAN TUNA PADA PT.X

Saut Siagian

Program Studi Teknik Mesin, UPN Veteran Jakarta, Jakarta Selatan

email<sup>1</sup> : sautsiagian100753@gmail.com

---

## Abstract

*One application is the refrigeration system to cool freshness of the fish so that the fish can survive longer. An engine coolant is used to store and cool fish called cold storage. While the special machine used to freeze fish quickly (1-2 hours) is called Air Blast Freezer (ABF). The purpose of freezing the fish in the ABF is to inhibit the growth of microorganisms that exist in fish that could not breed, then the fish is stored and further chill in cold storage. Cold storage and ABF is in Cirebon spend huge electricity costs when the number of fish average - average stored in cold storage is less than 1 ton per day. To that through this thesis the author seeks to examine and find solutions to these problems.*

*How that is done to be able to analyze the problems of the first was to measure and quantify the performance of the existing cooling system. Then compare it with the cooling load conditions as a result of the heat is transmitted to the evaporator. Because if the load is too large cooling will also result in a heavy compressor work and result in large power consumption as well.*

*Keywords: Cool Storage ,the refrigeration system*

---

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu Negara dengan wilayah laut yang cukup besar. Kondisi geografis seperti ini menjadikan Indonesia memiliki potensi yang cukup besar.

Namun dalam beberapa tahun terakhir banyak sekali ditemukan kasus overfishing yaitu bahwa terjadinya penangkapan ikan dalam jumlah yang sangat besat di daerah yang tidak jauh dari pantai,

Untuk menangan kasus tersebut maka perlu didirikan suatu lembaga untuk memantau dan meneliti produk-produk hasil laut sehingga memiliki kualitas dan kuantitas hasil perikanan tersebut selalu dalam kondisi yang sesuai dengan syandar mutu yang ada. Oleh sebab itu lembaga tersebut mendirikan sebuah unit pendingin ikan sebagai sebagai wujud nyata dalam rangka penerapan rantai dingin pada produk perikanan.

Sistem pendingin ikan (*cold storage*). ini digunakan untuk menyimpan ikan dan mendinginkannya pada temperature tertentu sehingga ikan segar tersebut dapat bertahan lama hingga beberapa minggu bahkan bisa bertahan hingga beberapa bulan. Dimana *cold storage* ini memiliki daya tampung penyimpanan

ikan hingga mencapai 60 ton. Namun dalam pengoperasiannya, massa ikan rata – rata yang masuk *cold storage* tersebut hanya beberapa ton saja dengan konsumsi listrik yang relatif besar

Dalam makalah ini saya men coba untuk menganalisis perbandingan sejumlah energi kalor yang diserap akibat proses pen dinginan, dengan energi listrik yang terpakai per bulannya untuk sistem pendinginan tersebut.

Dugaan sementara yang mengakibatkan sistem pendingin tersebut meng habiskan biaya listrik yang cukup besar adalah kondisi temperatur lingkungan yang cukup panas sehingga kalor yang diserap oleh *cold storage* tersebut cukup besar yang pada akhirnya mengakibatkan konsumsi listrik yang besar pula.

### 1.2 Tujuan

Adapun tujuan penulis dalam membuat tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung laju perpindahan kalor yang terjadi melalui dinding, pintu dan atap *cold storage* (konduksi).
2. Menghitung laju perpindahan kalor dari ikan di dalam ruang *cold storage*

3. Menghitung kapasitas mesin pendingin *cold storage* dan membandingkannya dengan beban pendinginan total yang ada pada *coldstorage* tersebut.
4. Membandingkan biaya listrik yang terhitung secara teori dengan biaya listrik yang terpakai sebenarnya.

### 1.3 Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini, yaitu :

- a. Studi literature, yaitu dengan cara mencari, mengumpulkan dan mempelajari bahan – bahan referensi yang berkaitan materi tugas akhir.
- b. Observasi, mengamati langsung proses pembekuan ikan dan penyimpanannya serta mempelajari cara kerja sistem pendinginnya.
- c. Pengujian sistem, mengukur dan mengambil data – data yang diperlukan dalam penelitian ini seperti temperatur dan tekanan sistem.
- d. Mengolah data hasil pengujian dan melakukan perhitungan performansi kemudian menganalisanya.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam menganalisis sistem, maka dalam pembuatan tugas akhir ini terdapat batasan-batasan tertentu yang membatasi ruang lingkup yang akan dikaji dalam tugas akhir ini. Adapun batasan-batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis perhitungan beban pendinginan melalui dinding hanya jenis kalor konduksi dan konveksi dari udara sekitar dalam dan luar ruangan.
2. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) didapat berdasarkan rekomendasi dari beberapa buku.
3. Kondisi udara lingkungan diasumsikan tidak berubah untuk setiap waktunya
4. Jenis ikan yang ada di ruang pendingin dianggap seragam dengan mengambil data dari jenis ikan yang paling banyak ada di ruangan

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pengertian Sistem Pendingin (*Refrigeration System*)

Sistem Pendingin (*Refrigeration system*) atau sistem refrigerasi merupakan suatu sistem yang

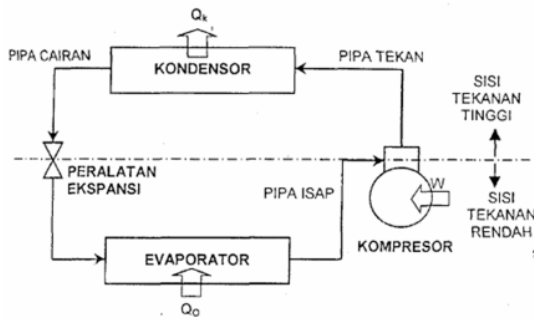
dapat menurunkan dan menjaga temperatur ruangan atau material tertentu menjadi lebih rendah temperaturnya dari pada temperatur lingkungan. Yaitu dengan cara memindahkan panas. kalor dari ruang / material tersebut ke luar sistem (ruangan yang lain).

### 2.2 Sistem Pendingin Kompresi Uap

Pada dasarnya sistem pendingin ikan (*cold storage / Air Blast Freezer*) ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan kulkas (*freezer*) yang ada pada rumah – rumah. Hanya saja kapasitasnya yang jauh lebih besar dari kulkas ini yang mengakibatkan *cold storage* memiliki mekanisme mesin yang kompleks dan cukup rumit. *Cold storage / ABF* ini terdiri dari sebuah wadah / tempat penyimpanan ikan yang besar yang didinginkan oleh sebuah unit pendingin. Adapun unit pendingin yang digunakan pada *cold storage / ABF* ini adalah jenis sistem refrigerasi kompresi uap, dimana sebagai media pendinginnya masih menggunakan refrigerant R22 (HCFC 22).

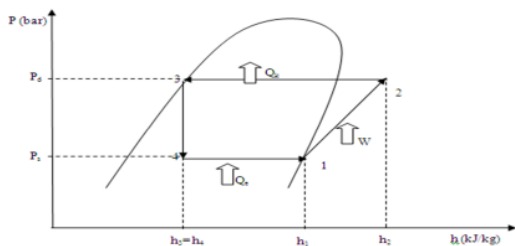
Dinamakan sistem refrigerasi kompresi uap karena pada unit pendingin ini menggunakan kompresor yang memompa uap refrigerant dari sisi tekanan rendah hingga menjadi uap tekanan tinggi. Sehingga pada sistem refrigerasi kompresi uap ini terdapat dua kondisi tekanan berbeda yaitu sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah. Pada sisi tekanan rendah inilah yang digunakan untuk proses pendinginan karena temperaturnya juga rendah hingga dapat menyerap panas dari lingkungan sekitarnya

Secara umum sistem refrigerasi kompresi uap ini terdiri dari 4 (empat) komponen utama, yaitu: kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen utama tersebut dihubungkan oleh pipa besi / tembaga hingga menjadi satu rangkaian tertutup sehingga membentuk suatu siklus (proses yang berulang – ulang) transfer panas dari lingkungan ke sistem, dan dari sistem ke lingkungan kembali. Sebagai media transfer panas yang bersirkulasi di dalam rangkaian tersebut digunakan refrigeran (biasa disebut freon) yang dapat dikompresi maupun di ekspansi untuk menaikkan dan menurunkan temperaturnya pada kondisi tertentu. Berikut adalah diagram rangkaian pemipaan sederhana dari sistem refrigerasi kompresi uap.



Gambar 2.1. Diagram pemipaan system refrigerasi kompresi uap sederhana

Atau jika siklus refrigerasi tersebut digambarkan pada diagram Tekanan – Entalphy (diagram P-h) maka akan terlihat seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 siklus refrigerasi pada diagram tekanan – entalpi

Penjelasan proses dari kedua gambar tersebut diatas adalah sebagai berikut :

1. Proses 1 – 2 (kompresi), merupakan proses kompresi uap refrigeran dari keadaan awal tekanan dan temperatur rendah yang dikompresi secara reversibel dan isentropik sehingga sehingga mengakibatkan tekanan dan temperaturnya menjadi lebih tinggi daripada temperatur lingkungan.
2. Proses 2 – 3 (kondensasi), proses ini terjadi di kondensator dimana uap refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi tersebut kemudian masuk ke kondensator untuk melepas panas ke lingkungan hingga berubah fasa menjadi refrigeran cair bertekanan tinggi.
3. Proses 3 – 4 (ekspansi), refrigeran cair yang masih bertekanan tinggi kemudian masuk alat ekspansi untuk diturunkan tekanannya sehingga temperaturnya pun turun (lebih rendah daripada temperatur lingkungan) dan sebagian refrigerant cair tersebut berubah fasa menjadi uap.
4. Proses 4 – 1 (evaporasi), proses ini terjadi di evaporator yang merupakan proses

terjadinya penguapan refrigeran cair menjadi uap jenuh kembali akibat penambahan panas dari beban yang ada di evaporator untuk selanjutnya di kompresi kembali di kompresor.

### 2.2.1 Proses kompresi di kompresor

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa kompresor pada sistem refrigerasi kompresi uap berfungsi untuk memompa uap refrigeran dari tekanan rendah menjadi uap refrigeran bertekanan tinggi (lihat proses 1 – 2 pada gambar diatas). Uap refrigeran tersebut menjadi bertekanan tinggi sebagai akibat dari kerja yang diberikan kompresor kepada refrigeran (W). Besarnya kerja kompresi tersebut dapat dihitung berdasarkan data dari siklus refrigerasi kompresi uap tersebut pada diagram Tekanan – Entalphy (P-h). Maka berdasarkan gambar 2.2 diatas kerja kompresi oleh kompresor dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$W_{\text{KOMPRESOR}} = m ( h_2 - h_1 ) \dots\dots\dots 2.1$$

$W_{\text{Komp}}$  = kerja kompresor, kJ

$m$  = massa refrigeran yang melewati kompresor, kg

$h_2$  = entalpi refrigerant keluaran kompresor, kJ/kg

$h_1$  = entalpi refrigerant masukan kompresor, kJ/kg

Atau dengan kata lain kerja kompresor dihitung dari selisih antara entalpi refrigerant keluaran dan masukan kompresor dikalikan dengan massa refrigeran yang melewatinya. Karena refrigerant yang melewati kompresor mengalir dengan kecepatan tertentu, akan sulit sekali untuk menghitung sejumlah massa refrigerant yang melewatinya. Maka akan lebih efektif jika persamaan 2.1 dinyatakan dalam satuan energy per satuan waktu (daya) dengan cara mengalikan selisih enthalpy keluar dan masuk dengan laju aliran massa refrigerant yang mengalir, yaitu

$$P_{\text{Komp}} = m ( h_2 - h_1 ) \dots\dots\dots 2.2 )$$

Persamaan 2.2 diatas merupakan rumus untuk menghitung nilai daya mekanik dari kompresor, yaitu kerja yang disebabkan oleh gerakan piston kompresor. Dalam istilah mesin daya ini sering disebut dengan daya output ( $P_o$ ).

Sedangkan yang dinamakan daya inputnya adalah merupakan suplai daya listrik yang menggerakkan motor pada kompresor tersebut ( $P_{Listrik}$ ). Hubungan antara keduanya dinyatakan dalam rumus efisiensi berikut ini

$$\eta = \left( \frac{P_{komp}}{P_{listrik}} \right) \dots\dots\dots 2.3 )$$

**2.2.2 Laju penyerapan panas (kapasitas) di evaporator**

Refrigeran yang mengalir di evaporator sebagian besar berfasa cair dan bertemperatur lebih rendah dari temperature lingkungan. Selanjutnya refrigerant tersebut menyerap kalor dari lingkungan sekitar yang mengakibatkan semua refrigerant cair pada evaporator tersebut menguap kembali menjadi fasa gas. Sejumlah panas yang diserap di evaporator tersebut dapat dihitung juga berdasarkan data dari siklus refrigerasi kompresi uap pada diagram Tekanan – Entalphy (P-h diagram). Dan berdasarkan gambar 2.2 diatas besarnya laju panas yang diserap di evaporator dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_{ev} = m (h_1 - h_4) \dots\dots\dots 2.4.)$$

Selain kerja kompresor dan kapasitas penyerapan panas di evaporator, pada system refrigerasi kompresi uap juga dikenal istilah *coeffisien of performance* (COP) yang mana nilai COP tersebut merupakan suatu nilai perbandingan antara kapasitas penyerapan panas yang terjadi di evaporator dengan sejumlah kerja kompresi yang dilakukan di kompresor. Atau dengan kata lain,

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{P_{komp}} \dots\dots\dots 2.5.)$$

Nilai COP tersebut merupakan nilai COP aktual atau yang sebenarnya terjadi. Terdapat juga istilah COP carnot, dimana merupakan nilai COP yang ideal dengan menganggap bahwa kalor yang dilepas di kondensor adalah sama dengan kalor yang diambil di evaporator ditambah energi yang dikeluarkan di kompresor. Sehingga rumus COP Carnot ini adalah :

$$COP_{carnot} = \frac{T_{evaporasi}}{T_{kondensasi} - T_{evaporasi}} \dots\dots 2.6 )$$

**2.3 Beban Pendinginan**

Sumber panas (beban) yang diserap di evaporator pada sistem refrigerasi tidak hanya dari satu jenis sumber saja, melainkan sejumlah panas yang dihasilkan dari berbagai sumber yang berbeda.

Pada sistem refrigerasi, khususnya *cold storage* dalam penulisan ini hanya akan dijelaskan metode perhitungan beban pendinginan untuk panas yang melewati dinding (konduksi), panas dari produk yang ada (dalam hal ini produknya adalah ikan) dan beban listrik dari kipas yang ada di evaporator. Sedangkan ketiga beban yang lain tidak diperhitungkan karena tidak terdapat pada system atau juga karena nilainya yang kecil sehingga dapat diabaikan.

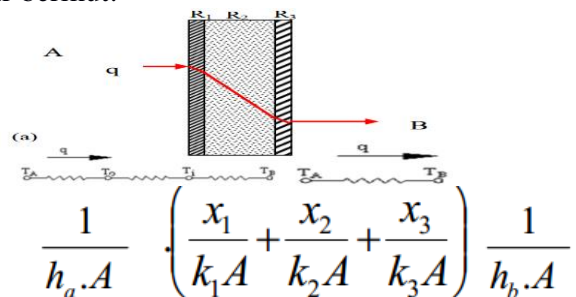
**2.3.1 Perhitungan beban konduksi melewati dinding**

Terjadinya perpindahan panas dari udara luar kedalam ruangan dingin sebagai akibat adanya perbedaan temperature antara sisi luar dinding dengan sisi bagian

$$Q_{wall} = A.U.\Delta T \dots\dots\dots 2.7 )$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dapat diartikan sebagai jumlah energy panas yang dapat berpindah melewati dinding seluas 1 m dalam setiap 1oC perbedaan temperatur pada

dinding. Dimana nilai ini tergantung dari ketebalan dinding dan material dinding yang digunakan pada ruangan tersebut. Perhatikan gambar berikut:



Gambar 2.3. Perpindahan panas pada dinding

Udara luar pada posisi A temperaturnya lebih tinggi daripada udara dalam (posisi B) sehingga panas mengalir dari udara A ke B. Udara pada posisi A dan B masing – masing memiliki koefisien konveksi  $H_a$  dan  $h$

Sedangkan luas permukaan dinding A dan panas yang melewati dinding Q, maka bentuk

lain dari persamaan 2.3 diatas adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{wall}} = \frac{A (\Delta T)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}}$$

### 2.3.2 Perhitungan beban produk

Ketika produk (ikan, daging, buah, dll) yang temperaturnya lebih tinggi disimpan pada temperature ruang penyimpanan dingin maka produk ini akan memberikan panas pada ruang sampai produk tersebut memiliki temperature yang sama dengan temperature ruangan. Panas yang dihasilkan produk ini dapat berupa panas sensible dan atau panas laten tergantung dari temperature penyimpanan apakah lebih rendah dari temperature titik beku produk atau lebih tinggi. Dimana nilai temperatur titik beku dari berbagai macam produk dapat dilihat pada tabel *properties of perishable product*.

Jika temperatur penyimpanan produk lebih rendah dari temperatur titik bekunya, maka jenis panas yang di keluarkan oleh produk tersebut terdiri dari tiga jenis yaitu :

1. Panas sensibel sebelum pembekuan, merupakan yang dikeluarkan oleh produk penurunan temperatur produk tersebut sampai pada batas temperatur titik bekunya.
2. Panas laten pembekuan, yaitu panas yang dikeluarkan ketika terjadi perubahan wujud produk dari cair menjadi padat (beku).
3. Panas sensibel setelah pembekuan, merupakan panas yang dikeluarkan produk akibat penurunan temperatur dari temperatur titik beku hingga pada temperatur yang lebih rendah lagi (minus).

Besarnya panas sensibel dari produk tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini, yaitu :

$$Q_{s,\text{prod}} = m \cdot C_p (\Delta T) \dots\dots\dots 2.9)$$

Selain dari panas sensible yang dihasilkan oleh produk, terdapat beban laten jika temperatur penyimpanan produk lebih rendah dari titik beku produk itu sendiri. Beban laten ini disebut dengan panas laten pembekuan, yaitu sejumlah panas yang dikeluarkan oleh benda tertentu ketika benda tersebut mangalami perubahan fasa dari cair menjadi padat.

Dan besarnya panas laten pembekuan produk tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$Q_{L,\text{prod}} = m \cdot h_{\text{lf}} \dots\dots\dots 2.10)$$

### 2.3.3 Perhitungan beban penghuni dan motor listrik

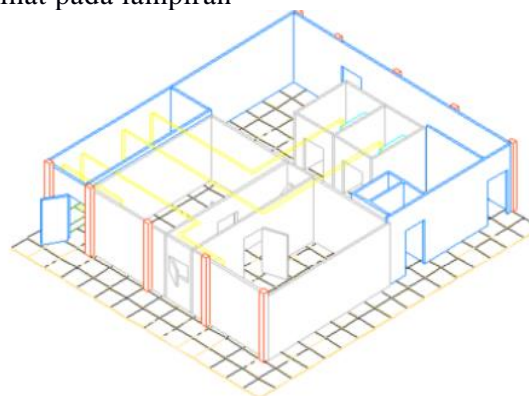
Jenis panas lain yang ada pada ruang penyimpanan dingin adalah panas yang dihasilkan dari penghuni / orang yang ada di ruangan ketika sedang bongkar muat produk dan juga panas yang ditimbulkan oleh peralatan listrik penghasil panas yang ada di dalam ruangan. Biasanya peralatan listrik yang ada di dalam ruangan tersebut hanya berupa motor kipas evaporator. Dimana besarnya panas yang dihasilkan oleh motor listrik tersebut dapat dilihat pada tabel *Heat Gain From Typical Electric Motor* . Sedangkan untuk panas yang dihasilkan oleh penghuni dapat dilihat pada tabel beban penghuni.

## III. SPESIFIKASI UNIT PENDINGIN

### 3.1 Data ruang pendingin

Berikut ini data dimensi dari cold storage dan ABF yang ada di karangsong, yaitu :  
 Dimensi cold storage : panjang = 10 m, lebar = 6 m, tinggi = 3 m  
 Dimensi ABF : panjang = 4 m, lebar = 3 m, tinggi = 3 m

Berikut adalah gambar sederhana dari unit bangunan pendingin cold storage tersebut, sedangkan untuk gambar detail dari bangunan pendingin ini baik unit cold storage maupun ABF dapat dilihat pada lampiran

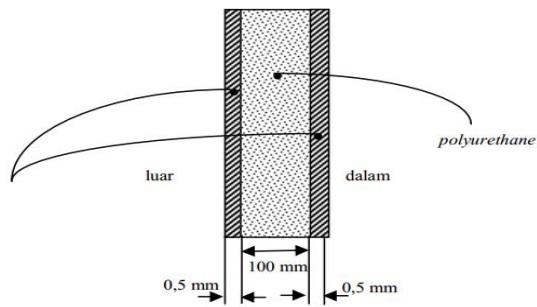


Gambar 2.3 Gambar ruang pendingin ( Cold Storage )

Untuk dinding, pintu dan atap dari ruang pendingin ini memiliki lapisan material yang sama.

Konstruksi dari dinding, pintu dan atap tersebut sama – sama terdiri dari 3 lapis material seperti

yang terlihat pada gambar berikut ini.



#### IV. PERHITUNGAN BEBAN

##### 4.1 Pengambilan Data

Titik-titik pengukuran yang diperlukan dalam pengambilan data tersebut meliputi :

1. Tekanan kondensasi
2. Tekanan evaporasi
3. Temperatur discharge kompresor
4. Temperatur suction kompresor
5. Temperatur masuk evaporator
6. Temperatur kabin

##### 4.2 Perhitungan COP, kapasitas pendinginan, dan efisiensi refrigerasi

Untuk mempermudah perhitungan, maka data yang sudah ditentukan diatas digambarkan pada diagram tekanan-enthalpi (P-h)

Berdasarkan pada data yang ada, kita dapat mengetahui kinerja sistem yang kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan kondisi rancangan.

Pada jam 16.00 tabel 3 Data Air Blast Freezer

- Tekanan discharge : 17 Bar absolut
- Tekanan suction : 1.6 Bar absolut
- Temperatur Discharge : 121.7 °C
- Temperatur masuk evap : - 29 °C
- Temperatur keluar kondensor : 37.2 °C
- Temperatur Suction : - 4.6 °C

Jika diplotkan ke diagram P- h R-22 maka dapat diperoleh harga-harga enthalpy sebagai berikut :

Sehingga berdasarkan pada persamaan 2.4

$$h_1 = 400 \text{ kJ / kg}$$

$$h_2 = 480 \text{ kJ / kg}$$

$$P_{Komp} = 25 \text{ pk} = 18,65 \text{ kW ( data$$

spesifikasi alat )

$$m = P_{komp} / h_2 - h_1$$

$$= 18,65 / 480 - 400$$

$$= 0,233 \text{ kg/s}$$

Sehingga berdasarkan pada persamaan 2.4 kapasitas pendinginan di evaporator  $Q_e$  dapat dihitung, yaitu : kapasitas pendinginan di evaporator :

$$Q_c = m ( h_1 - h_4 ) = 0,233 \text{ kg/s ( } 400 - 245 ) \text{ kJ / kg}$$

$$= 36,13 \text{ Kw}$$

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{P_{komp}}$$

$$= \frac{36,13}{18,65}$$

$$= 1,94$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{Evaporasi}}{T_{Kondensasi} - T_{Evaporasi}}$$

$$= \frac{(-29 + 273)}{42 - (-29)}$$

$$= 3,3$$

$$\eta_{refrigerasi} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{Carnot}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,94}{3,3} \times 100\%$$

$$= 58,8 \%$$

Pada jam 13.00 tabel 2 Data Cold Storage 1

Tekanan discharge : 15 Bar absolut

Tekanan suction : 1.8 Bar absolut

Temperatur Discharge : 120.5 °C

Temperatur masuk evap : - 20 °C

Temperatur keluar kondensor : 35.5 °C

Temperatur Suction : 2.2 °C

Jika diplotkan ke diagram Ph R-22 maka dapat diperoleh harga-harga enthalpy sebagai berikut:

berikut:

$$h_1 : 410 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 : 485 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 242 \text{ kJ / kg}$$

$$P_{Komp} = 15 \text{ pk} = 11,19 \text{ Kw ( data$$

spesifikasi alat )

$$m = \frac{P_{komp}}{(h_2 - h_1)}$$

$$= \frac{11,19}{(485 - 410)}$$

$$= 0,155 \text{ kg / s}$$

Sehingga berdasarkan pada persamaan 2.4

kapasitas pendinginan di evaporator  $Q_e$  dapat

dihitung, yaitu :

$$Q_e = m ( h_1 - h_4 )$$

$$= 0,155 \text{ kg/s ( } 410 - 242 ) \text{ kJ / kg}$$

$$= 25,07 \text{ Kw}$$

$$COP_{aktual} = \frac{Q_e}{P_{komp}}$$

$$= \frac{25,07}{11,19}$$

$$= 2,24$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{Evaporasi}}{T_{Kondensasi} - T_{Evaporasi}}$$

$$= \frac{(-20,6 + 273)}{40 - (-20,6)}$$

$$= 4,13$$

$$\eta_{refrigerasi} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{Carnot}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,42}{4,13} \times 100\%$$

$$= 54 \%$$

#### 4.4 Beban pendinginan pada Air Blast Freezer

Karena Air Blast Freezer ini hanya digunakan untuk proses precooling dan tidak digunakan untuk menyimpan ikan yang beku, maka jumlah beban yang harus diambil pada evaporatornya lebih sedikit bila dibandingkan dengan jumlah beban yang ada di cold storage.

Proses precooling ini sendiri biasanya terjadi antara 1 jam sampai 4 jam tergantung dari massa ikan yang didinginkan. Jenis beban pendinginannya hanya terdiri dari tiga jenis, yaitu panas sensible sebelum pembekuan pada ikan, panas yang melewati dinding dan panas dari motor kipas evaporator.

##### 4.4.1 Panas yang melewati dinding

Berdasarkan dari data ruang pendingin pada bab 3 diatas maka perhitungan jumlah panas yang melewati dinding ABF tersebut dapat dihitung. Diketahui dari data spesifikasi :

- Luas dinding sebelah Utara (AU) = 12 m<sup>2</sup>
- Luas dinding sebelah Selatan (AS) = 12 m<sup>2</sup>
- Luas dinding sebelah Barat (AB) = 9 m<sup>2</sup>
- Luas dinding sebelah Timur (AT) = 9 m<sup>2</sup>
- Luas dinding total keseluruhan (A) = 42 m<sup>2</sup>
- Luas atap (Atap) = 12 m<sup>2</sup>

Koefisien perpindahan panas konveksi permukaan dinding = 8,3 W/m<sup>2</sup> °C

Koefisien perpindahan panas konveksi permukaan atap = 6,1 W/m<sup>2</sup> °C

Material dinding :

- \* 0.5 mm baja jenis galvalum, dengan nilai k = 25 W/m.°C
- \* 150 mm Polyurethane, dengan nilai k = 0,023W/m.°C
- \* 0.5 mm baja jenis galvalum, dengan nilai k = 25 W/m.°C

Dan dari tabel 3 data pengukuran ABF pada jam 16.00 WIB didapat :

$$\Delta T = \text{Temp. Lingkungan} - \text{Temp. ABF} = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C} - (-20,6 \text{ } ^\circ\text{C}) = 52,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga besarnya perpindahan panyang melewati dinding tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 :

$$Q_{wall} = \frac{A (\Delta T)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}}$$

$$= \frac{42(52)}{\frac{1}{8,3} + \frac{0,0005}{25} + \frac{0,15}{0,023} + \frac{0,0005}{25} + \frac{1}{8,3}}$$

$$= 0,32 \text{ Kw}$$

Dan melalui atap,

$$Q_{atap} = \frac{A (\Delta T)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}}$$

$$= \frac{12(52)}{\frac{1}{6,1} + \frac{0,0005}{25} + \frac{0,15}{0,023} + \frac{0,0005}{25} + \frac{1}{6,1}}$$

$$= 0,09 \text{ kW}$$

##### 4.4.2 Panas dari produk

Jenis panas dari ikan yang akan didinginkan pada ABF ini hanya panas sensible sebelum pembekuan, yaitu panas sensible yang dikeluarkan dari penurunan temperatur awal ikan 28 °C hingga temperatur beku -2 °C. Dan untuk jenis ikan yang didinginkan tersebut adalah dari berbagai jenis ikan laut seperti ikan kakap, ikan pari, ikan bandeng dan berbagai jenis ikan laut yang lain.

Pada perhitungan panas yang dihasilkan oleh ikan ini memerlukan data kalor spesifik dari ikan itu sendiri. Oleh karena nilai kalor spesifik tersebut berbeda – beda untuk berbagai jenis ikan, maka nilainya diambil dari ikan yang paling sering dan paling banyak disimpan di ruang pendingin, yaitu dipilih jenis ikan tuna (ikan manyung). Dari table data yang ada di lampiran, didapat nilai – nilai kalor spesifik dan laten dari jenis ikan tuna tersebut adalah sebagai berikut :

Kalor spesifik ikan tuna, c tuna = 3.43 kJ/kg.°C

Dan dari tabel data pengukuran 1 pada jam 12.00 WIB didapat :

- Massa ikan yang masuk, m = 3411 kg/hari
- Temperatur awal ikan, Tawal = 28 °C
- Temperatur akhir ikan, Takhir = -2 °C
- Perbedaan temperatur, ΔT = 30 °C

Sehingga jumlah kalor yang diserap di evaporator pada ABF ini berdasarkan persamaan

2.7 dan 2.8 tersebut adalah :

$$\begin{aligned} Q_{s,\text{produk}} &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 3,411 \times 3,43 \times 30 \\ &= 35,992 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Sejumlah kalor tersebut telah didinginkan secara bertahap sebanyak 3 tahap. Tahap pertama pendinginan sebanyak 700 kg dalam waktu 1 jam, tahap kedua pendinginan sebanyak 1211 kg juga dalam waktu 1,5 jam dan terakhir tahap tiga sebanyak 1500 kg dengan waktu 2 jam. Sehingga total waktu yang diperlukan untuk mendinginkan produk sebanyak 3411 kg tersebut adalah selama 4,5 jam. Jadi beban produk yang tertera diatas jika dikonversi dalam satuan kilowatt adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{s,\text{produk}} &= 350,992 \text{ kJ} / ( 4,5 \text{ jam} \times 3600 \text{ s} \\ &\text{, jam} ) \\ &= 21,67 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.4.3 Panas dari motor kipas evaporator

Untuk mengetahui jumlah panas yang dikeluarkan motor kipas evaporator dapat dilihat pada tabel yang tertera di lampiran. Daya input motor yang digunakan adalah 460 W. Dan berdasarkan pada tabel motor heat gain (Tabel 6 ASHRAE Refrigeration Load ) pada lampiran didapat :

Motor heat gain : 694 W (untuk daya motor 460 W), ada 2 kipas, maka:

$$Q_{\text{motor}} = 0,694 \text{ kW} \times 2 = 1,38 \text{ kW}$$

Sehingga beban total keseluruhan yang ditambahkan ke ruang ABF tersebut dapat dihitung

dengan cara menjumlahkan sejumlah panas yang telah dihitung tersebut diatas.

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total ABF}} &= Q_{\text{wall}} + Q_{\text{atap}} + Q_{\text{Produk}} + \\ Q_{\text{motor}} &= 0,32 + 0,09 + 21,67 + 1,38 \\ &= 23,46 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.5 Beban pendinginan pada Cold storage

Berbeda dengan ABF, pada cold storage ini terdapat sumber beban pendinginan yang lebih banyak. Selain dari jenis panas seperti yang di ABF, juga terdapat panas tambahan dari penghuni atau orang yang meleakukan aktifitas di ruangan cold storage ini ketika melakukan aktifitas. Waktu pendinginannya pun lebih lama disbanding dengan ABF yang hanya serkitar 1 – 2 jam, pada cold storage ini memiliki waktu pendinginan selama 24 jam atau satu hari penuh. Sehingga diharapkan dalam waktu satu hari tersebut sejumlah beban pendinginannya dapat

diserap semu hingga temperatur ikan pun sesuai dengan yang diinginkan.

#### 4.5.1 Panas yang melewati dinding

Berdasarkan dari data ruang pendingin, maka perhitungan jumlah panas yang melewati dinding Cold storage tersebut dapat dihitung.

Diketahui dari data spesifikasi : Luas dinding sebelah Utara (AU) = 30 m<sup>2</sup>

Luas dinding sebelah Selatan (AS) = 30 m<sup>2</sup>

Luas dinding sebelah Barat (AB) = 18 m<sup>2</sup>

Luas dinding sebelah Timur (AT) = 18 m<sup>2</sup>

Luas dinding total keseluruhan (A) = 96 m<sup>2</sup>

Luas dinding Atas (Atap) Aatap = 60 m<sup>2</sup>

Koefisien perpindahan panas konveksi permukaan dinding = 8,3 W/m<sup>2</sup> °C

Koefisien perpindahan panas konveksi permukaan atap = 6,1 W/m<sup>2</sup> °C

Material dinding & atap :

\* 0.5 mm baja jenis galvalum, dengan nilai k = 25 W/m.°C

\* 100 mm Polyurethane, dengan nilai k = 0,023 W/m. °C

\* 0.5 mm baja jenis galvalum, dengan nilai k = 25 W/m. °C

Dari data pengukuran cold storage 1 pada jam 12.00 WIB didapat :

$\Delta T = \text{Temp. Lingkungan} - \text{Temp. ruang} = 31,2 \text{ } ^\circ\text{C} - (-12,7 \text{ } ^\circ\text{C}) = 43,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

Sehingga nilai jumlah perpindahan panas yang melewati dinding vertikal dapat dihitung dengan

menggunakan persamaan 2.5 :

$$\begin{aligned} Q_{\text{wall}} &= \frac{A (\Delta T)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}} = \\ &= \frac{96(43,9)}{\frac{1}{8,3} + \frac{0,0005}{25} + \frac{0,1}{0,023} + \frac{0,0005}{25} + \frac{1}{8,3}} \\ &= 0,92 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dan yang melalui atap :

$$\begin{aligned} Q_{\text{atap}} &= \frac{A (\Delta T)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}} = \\ &= \frac{60(43,9)}{\frac{1}{6,1} + \frac{0,0005}{25} + \frac{0,1}{0,023} + \frac{0,0005}{25} + \frac{1}{6,1}} \\ &= 0,56 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.5.2 Panas dari produk

Produk yang disimpan pada cold storage tersebut adalah dari berbagai jenis ikan laut



seperti ikan kakap, ikan pari, ikan bandeng dan berbagai jenis ikan laut yang lain. Jenis panas yang diserap pada cold storage ini merupakan panas laten pembekuan dan panas sensible setelah pembekuan (yaitu panas sensible dari penurunan temperatur  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Sehingga pada perhitungan panas di cold storage ini memerlukan data kalor spesifik setelah pembekuan dan kalor laten dari ikan itu sendiri. Dan karena nilai kalor spesifik dan laten tersebut berbeda – beda untuk berbagai ikan, maka nilainya diambil dari jenis ikan yang paling sering dan paling banyak disimpan di ruang pendingin, yaitu ikan tuna (ikan manyung). Dari tabel data yang ada di lampiran, didapat nilai – nilai kalor spesifik dan laten dari jenis ikan tuna tersebut adalah sebagai berikut :

Kalor spesifik setelah beku ikan tuna,  $c_{\text{tuna}} = 2,19\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

Kalor laten pembekuan ikan tuna,  $h_{\text{lf.tuna}} = 227\text{ kJ/kg}$

Dan dari tabel 2 data pengukuran pada jam 13.00 WIB didapat :

□ Massa ikan yang masuk,  $m = 3411\text{ kg/hari}$

- Temperatur awal ikan,  $T_{\text{awal}} = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatur akhir ikan,  $T_{\text{akhir}} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Perbedaan temperatur,  $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sehingga jumlah kalor yang ditambahkan ke ruangan pada kondisi jam 13.00 WIB berdasarkan persamaan 2.7 dan 2.8 tersebut adalah :

$$Q_{\text{L.prod}} = m \cdot h_{\text{lf}} = 3.411 \times 227 = 774.297\text{ kJ}$$

$$Q_{\text{s.prod}} = m \cdot c_p = 3.411 \times 2,19 \times 10 = 74.701\text{ kJ}$$

$$Q_{\text{produkt}} = Q_{\text{s.prod}} + Q_{\text{L.prod}} = 848.998\text{ kJ}$$

Dan karena sejumlah panas dari produk tersebut akan didinginkan dalam waktu satu hari (24 jam), maka beban keseluruhan produk tersebut jika dikonversi dalam satuan kilowatt adalah

$$Q_{\text{produkt}} = 848,998\text{ KJ} / (24\text{ jam} \times 3600\text{ s} / \text{jam}) = 9,83\text{ kW}$$

#### 4.5.2 Panas dari produk

Produk yang disimpan pada cold storage tersebut adalah dari berbagai jenis ikan laut seperti ikan kakap, ikan pari, ikan bandeng dan berbagai jenis ikan laut yang lain. Jenis panas yang diserap pada cold storage ini merupakan

panas laten pembekuan dan panas sensible setelah pembekuan (yaitu panas sensible dari penurunan temperatur  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Sehingga pada perhitungan panas di cold storage ini memerlukan data kalor spesifik setelah pembekuan dan kalor laten dari ikan itu sendiri. Dan karena nilai kalor spesifik dan laten tersebut berbeda – beda untuk berbagai ikan, maka nilainya diambil dari jenis ikan yang paling sering dan paling banyak disimpan di ruang pendingin, yaitu ikan tuna (ikan manyung). Dari tabel data yang ada di lampiran, didapat nilai – nilai kalor spesifik dan laten dari jenis ikan tuna tersebut adalah sebagai berikut :

Kalor spesifik setelah beku ikan tuna,  $c_{\text{p.tuna}} = 2,19\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

Kalor laten pembekuan ikan tuna,  $h_{\text{lf.tuna}} = 227\text{ kJ/kg}$

Dan dari tabel 2 data pengukuran pada jam 13.00 WIB didapat :

\* Massa ikan yang masuk,  $m = 3411\text{ kg/hari}$

\* Temperatur awal ikan,  $T_{\text{awal}} = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$

\* Temperatur akhir ikan,  $T_{\text{akhir}} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$

\* Perbedaan temperatur,  $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sehingga jumlah kalor yang ditambahkan ke ruangan pada kondisi jam 13.00 WIB berdasarkan persamaan 2.7 dan 2.8 tersebut adalah :

$$Q_{\text{L.prod}} = m \cdot h_{\text{lf}} = 3.411 \times 227 = 774.297\text{ kJ}$$

$$Q_{\text{s.prod}} = m \cdot C_p (\Delta T) = 3.411 \times 2,19 \times 10 = 74.701\text{ kJ}$$

$$Q_{\text{produkt}} = Q_{\text{s.prod}} + Q_{\text{L.prod}} = 848.998\text{ kJ}$$

Dan karena sejumlah panas dari produk tersebut akan didinginkan dalam waktu satu hari (24 jam), maka beban keseluruhan produk tersebut jika dikonversi dalam satuan kilowatt adalah

$$Q_{\text{produkt}} = 863.955\text{ kJ} / (24\text{ jam} \times 3600\text{ s/jam}) = 9,83\text{ kW}$$

#### 4.5.3 Panas dari penghuni dan motor kipas evaporator

Untuk mengetahui jumlah panas yang dikeluarkan oleh penghuni (orang) dan motor kipas evaporator dapat dilihat pada tabel yang tertera di lampiran. Dan berdasarkan pada tabel beban penghuni yang ada di lampiran (tabel 1. ASHRAE Refrigeration Load) dan tabel heat gain

motor listrik pada lampiran (tabel 6. ASHRAE Refrigeration Load) tersebut didapat :

Motor heat gain : 694 W (untuk daya motor 460W), ada 2 buah, maka :

$$Q_{\text{motor}} = 0,694 \text{ kW} \times 2 = 1,38 \text{ kW}$$

Heat gain / person = 330 W / org (dari table ASHRAE), ada 4 orang tiap bongkar muat dan paling lama 2 jam sehari ada di ruangan pendingin, Maka :

$$\begin{aligned} Q_{\text{person}} &= (\text{Heat gain / person}) \times \text{jumlah orang} \times (2 \text{ jam} / 24 \text{ jam}) \\ &= 330 \text{ W/org} \times 4 \text{ org} \times (2 \text{ jam} / 24 \text{ jam}) \\ &= 0.11 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga beban total keseluruhan yang ditambahkan ke ruang pendingin tersebut dapat dihitung dengan cara menjumlahkan sejumlah panas yang telah dihitung tersebut diatas.

$$\begin{aligned} Q_{\text{TOTAL Cold storage}} &= Q_{\text{wall}} + Q_{\text{atap}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{person}} + Q_{\text{motor}} \\ &= (0,92 + 0,56 + 9,83 + 0,11 + 1,38) \text{ kW} \\ &= 12,81 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.6 Perhitungan rata – rata per bulan

Proses perhitungan yang dijelaskan pada subbab 4.4 dan 4.5 tersebut diatas merupakan proses perhitungan beban pendinginan yang berdasarkan pada data selama satu hari saja dari waktu satu bulan yang ada. Sedangkan kenyataannya adalah bahwa ikan yang masuk pada cold storage tersebut setiap harinya adalah berubah – ubah, kadang banyak dan kadang sedikit atau malah tidak ada. Untuk itu perlu diadakan perhitungan rata – rata beban pendinginan setiap harinya yang berdasarkan data ikan rata – rata yang masuk selama bulan November tersebut. Dimana agar dapat memperkirakan berapa kapasitas evaporator yang seharusnya terpasang pada unit pendingin tersebut dan membandingkannya dengan kapasitas evaporator yang ada saat ini.

Dari tabel 4 data ikan yang masuk selama satu bulan di bulan November, didapat massa ikan rata – rata per harinya tersebut adalah sekitar 853 kg. Maka selanjutnya dengan cara yang sama seperti pada subbab 4.4 dan 4.5 diatas didapat nilai – nilai berikut ini:

Beban rata – rata perhari pada Cold storage) :

Beban rata – rata perhari pada Cold storage (November 2010) :	Beban rata – rata perhari pada ABF (November 2010):
$Q_{\text{wall}} = 0,92 \text{ W}$	$Q_{\text{wall}} = 0,32 \text{ kW}$
$Q_{\text{atap}} = 0,56 \text{ W}$	$Q_{\text{atap}} = 0,09 \text{ kW}$
$Q_{\text{s.prod}} = 0,22 \text{ kW}$	$Q_{\text{s.prod}} = 24,38 \text{ kW}$
$Q_{\text{L.prod}} = 2,69 \text{ kW}$	$Q_{\text{motor}} = 1,38 \text{ kW}$
$Q_{\text{motor}} = 1,38 \text{ kW}$	$\text{Total } Q_{\text{ABF}} = 26,18 \text{ kW}$
$Q_{\text{orang}} = 0,11 \text{ kW}$	
$\text{Total } Q_{\text{cold store}} = 5,89 \text{ kW}$	

#### 4.7 Analisa perhitungan

Dari hasil perhitungan diatas, didapat nilai daya kompresor mekanik (Pkomp.) pada cold storage dan ABF masing – masing adalah sebesar 11,19 kilowatt dan 18,65 kilowatt. Dan karena mesin pendingin tersebut dalam sehari dapat beroperasi sebanyak 24 jam untuk cold storage dan 2 jam untuk ABF, maka jumlah energi listrik yang terpakai pada mesin tersebut dalam satuan kilowattjam (E, kWh) sebesar : E cold storage, kWh = 11,19 kW x 24 jam/hari x 30 hari = 8.056 kWh E ABF, kWh = 18,65 kW x 2 jam/hari x 30 hari = 1.119 kWh

Dengan menganggap biaya listrik per kWh adalah sebesar Rp 1000,- rupiah, maka biaya listrik yang harus dibayarkan untuk pengoperasian dua buah mesin pendingin tersebut selama satu bulan diperkirakan sebesar Rp 9.175.000,- rupiah. Biaya sebesar 9,175 juta rupiah ini sedikit lebih besar nilainya bila dibandingkan dengan yang sebenarnya yang sebesar 9,166 juta rupiah. Padahal seharusnya biaya listrik yang terhitung lebih kecil dari pada yang dibayarkan sebenarnya ke PLN, karena biaya yang dibayarkan ke PLN merupakan biaya total keseluruhan selain dari unit pendingin saja. Hal ini mungkin dikarenakan oleh perhitungan yang menganggap bahwa unit pendingin beroperasi selama 24 jam penuh dalam sehari, padahal sebenarnya unit beroperasi kurang dari 24 jam karena adanya defrost dan pada saat defrost ini kompresor tidak beroperasi.

Selanjutnya dari data biaya listrik yang terhitung ini, kita bisa menghitung berapa biaya sewa minimal yang harus dibayar untuk setiap massa ikannya agar dapat mengetahui berapa keuntungan yang ingin diperoleh dari sewa pendinginan ikan ini, yaitu dengan menggunakan cara berikut :

Biaya Sewa minimal = Total biaya listrik / total massa ikan selama sebulan = Rp 9.175.000,- / 25587 kg = Rp 358,- / kg ikan

Dari perhitungan tersebut juga didapat nilai kapasitas pendinginan evaporator yang relative lebih besar dari beban pendinginan yang ada pada cold storage baik pada beban dalam 1 hari tertentu maupun pada perhitungan beban rata – rata perharinya. Dimana pada cold storage didapat nilai kapasitas pendinginan sebesar 25,07 kW.

Sedangkan beban pendinginan pada tanggal 8 November sebesar 12,81 kilowatt (untuk massa ikan 3411 kg) dan untuk beban rata – rata perhari hanya 5,89 kilowatt (untuk massa rata – rata 853 kg). Selisihnya adalah 2 kali lipatnya dan bahkan 4 kali lipatnya untuk massa rata – rata 853 kg. Selisih ini sangat besar yang mengakibatkan konsumsi daya listrik yang juga besar meskipun beban yang ada sangat sedikit.

Sebaliknya dengan melihat kapasitas evaporator yang sebesar 25,07 kilowatt ini kita dapat menghitung berapa massa ikan yang seharusnya bisa didinginkan oleh unit cold storage tersebut. Yaitu sebagai berikut : Beban panas ikan =  $Q_e - Q_{wall} - Q_{atap} - Q_{orang} - Q_{motor}$

$$= (25,07 - 0,92 - 0,56 - 0,11 - ,38) \text{ kJ/s}$$

$$= 22,10 \text{ kJ/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa ikan max} &= (22,10 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s/jam} \\ &\times 24 \text{ jam/hari}) / (h_{if} + C_2 \times \Delta T_2) \text{ kJ/kg} \\ &= (1.909.440 \text{ kJ/hari}) / \\ &(227 + 2,2 \times 10) \text{ kJ/kg} \\ &= 7668 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan data pengukuran, perhitungan, dan analisis yang telah dilakukan pada bab – bab sebelumnya diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut, yaitu :

- Biaya listrik yang besar untuk kedua mesin pendingin (cold storage dan Air Blast Freezer) yang ada tersebut dikarenakan kapasitas pendinginannya yang besar dan tidak dilengkapi dengan pengaturan kapasitasnya sehingga meskipun bebannya berubah – ubah setiap harinya tapi konsumsi daya listriknya tetap besar.
- Untuk satu unit cold storage memiliki kapasitas pendinginan 25,07 kilowatt, dan kapasitas ini mampu mendinginkan dan menyimpan ikan hingga sebanyak 7.686 kg setiap harinya.
- Sedangkan untuk COP aktual yang dicapai oleh cold storage tersebut adalah sekitar

2,24 lebihkecil dari COP Carnot-nya yang sebesar 4,13.

## DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, Andrew. D, Carl H. Turguisht dan Alfred F. Bracciano. 1992. “Modern Refrigeration and Air Conditioning”. South Holland, Illionis: The good heart – Wilcox Company, Inc. ASHRAE Refrigeration Handbook 2006, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2006
- Dossat, Roy, J. 1981.” Principle of Refrigeration” SI Edition. Canada: Jhon Willey and Son.1981
- Holman, JP. E. Jasifi (penerjemah). Perpindahan Panas, Edisi Keenam. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1994
- Lienhard, Jhon H IV / V. A Heat Transfer Textbook. 3<sup>rd</sup> Edition. Phlogiston Press. Cambridge, Massachusete, USA. 2001