

ANALISIS BEBAN PENDINGINAN PADA *COLD STORAGE* UNTUK PENYIMPANAN DAGING

Ratu Mutia Fajarani¹⁾, Yopi Handoyo²⁾, R. Hengki Rahmanto²⁾

¹⁾Program Strata Satu Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam "45" Bekasi

²⁾Tim Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam "45" Bekasi

Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat 17113

E-mail Penulis: ratumutiaf@gmail.com

Abstrak

Pendinginan adalah cara pengawetan paling baik dari pada yang lainnya karena bahan makanan yang telah didinginkan akan tetap segar dan tidak akan mengalami perubahan rasa, warna dan aromanya, di samping itu segala aktivitas yang menyebabkan pembusukan akan terhenti sehingga bahan makanan yang didinginkan akan dapat tahan lebih lama lagi (Hartanto,1984). Dengan perencanaan mesin pendingin yang tepat, dapat membantu penyesuaian tata ruang, penyesuaian pembebanan, penaksiran daya yang akan dipakai, hingga rencana anggaran biaya. Itulah yang biasa disebut dengan perhitungan beban pendinginan. Perhitungan beban pendingin perlu dilaksanakan terlebih dahulu sebelum dilakukan perencanaan. Hal ini diperlukan karena besarnya beban pendinginan sangat berpengaruh terhadap pemilihan mesin pendingin sehingga titik beku untuk mengawetkan makanan bisa akurat. Beban pendinginan di pengaruhi oleh faktor luar dan dalam. Dengan metode eksperimental, didapatkan hasil dari beban pendingin luar sebesar Beban pendingin luar adalah 11,6 kW ,beban pendinginan dalam adalah 138,8 kW dan koefisien kerja prestasi (COP) sebesar 2.

Kata Kunci: Cold Storage, Beban pendingin, COP.

Abstract

Cooling is the best preservation method than others because the food that has been cooled will remain fresh and will not experience a change in taste, color and aroma, besides all the activities that cause decay will stop so that the cooled food will last longer. (Hartanto, 1984). With the proper cooling engine planning, it can help with spatial adjustments, adjustments to loading, estimation of the power to be used, and budget plans. That is what is commonly called the cooling load calculation. Calculation of cooling load needs to be carried out before planning. This is necessary because the magnitude of the pending load is very influential on the selection of the cooling engine so that the freezing point for preserving food can be accurate. Pendinginan burden is influenced by external and internal factors. With the experimental method, it is obtained the results of the external cooling load as the external cooling load is 11.6 kW, the inner cooling load is 138.8 kW and the performance work coefficient (COP) is 2

Keywords: Cold Storage, Cooling Load, COP.

PENDAHULUAN

Perhitungan beban pendingin perlu dilaksanakan terlebih dahulu sebelum dilakukan perencanaan. Hal ini diperlukan karena besarnya beban pendinginan sangat berpengaruh terhadap pemilihan mesin pendingin sehingga titik beku untuk mengawetkan makanan bisa akurat. Beban pendinginan di pengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor dari dalam ruangan (*internal heat gains*) yang meliputi orang-orang, lampu, dan peralatan elektronik yang menghasilkan kalor. Kemudian faktor dari luar ruangan (*external heat gains*) yang meliputi konduksi melalui dinding, atap, plafon, lantai, dan radiasi dari matahari yang melewati kaca.

Tujuan penelitian dengan perencanaan mesin pendingin yang tepat, dapat membantu penyesuaian pembebanan, penaksiran daya yang akan dipakai, hingga rencana anggaran biaya. Untuk mengetahui berapakah nilai beban pendinginan dari dalam, Untuk mengetahui berapakah nilai beban pendinginan dari luar, Dapat mengetahui nilai COP dari *cold storage*. Batasan masalah yang akan dilakuakan pada penelitian adalah analisa yang dihitung hanya beban pendingin dari luar akibat rembesan panas melalui dinding, atap dan lantai *cold storage* dan beban pendingin dari dalam *cold storage* yang terdiri dari panas produk, panas pekerja, panas dari lampu, panas dari evaporator saat melakukan *defrost* dan panas dari kipas evaporator. *Cold storage* terdiri dari 1 ruangan yaitu *cold room* menggunakan refrigeran R404a. Temperatur maksimal *cold room* -18°C . Temperatur produk seragam. Produk yang di dinginkan adalah daging sapi. Temperatur lingkungan konstan. Ukuran *cold room* $7\text{m} \times 6\text{m} \times 3,7\text{m}$.

Penelitian akan dilakukan dengan melandaskan teori sebagai berikut:

Ratu Mutia "Analisis Pendinginan Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Daging"

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.7, No.1 Februari 2019 Universitas Islam 45 Bekasi, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>

a. Refrigeran R404-A

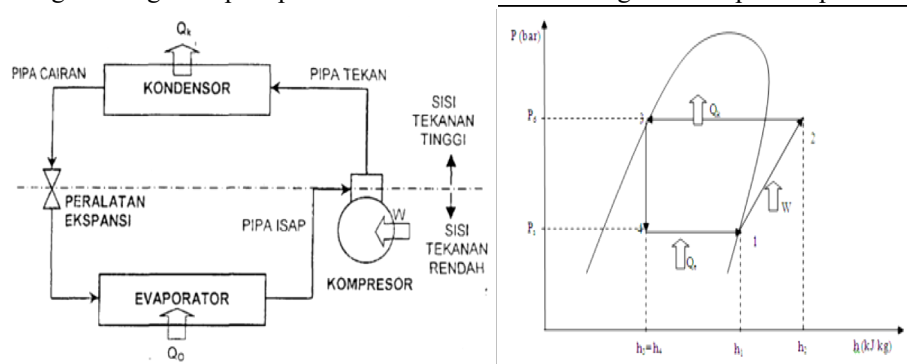
Refrigeran R-404A adalah campuran refrigeran yang dikembangkan untuk menggantikan R-502 *hydro chloro fluoro carbon/ chloro fluoro carbon (HCFC/CFC)* . R-404A sebagian besar digunakan sebagai refrigeran untuk temperatur sedang pada sistem refrigerasi seperti *showcase, cold storage warehouse, cool boxes*. Pada Gambar 1. dijelaskan komposisi pada refrigeran R-404A (*R-404A Data Sheet, Daikin Industries, May 2009*)



Gambar 1. Refrigeran R-404A

b. Mesin Refrigerasi Kompresi Uap

Gambar 2. secara umum, mesin refrigerasi kompresi uap menggunakan empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, evaporator dan alat ekspansi. 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. (A) Mesin Refrigerasi Kompresi Uap, (B) Diagram Entalpi Kompresi Uap

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. Besarnya kompresi persatuan dengan menggunakan masa refrigeran dapat dihitung dengan Persamaan 1:

$$W = h_1 - h_2 \tag{1}$$

Dimana :
 W = besarnya kerja kompresor (kJ/kg)
 h_1 = entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/k)
 h_2 = entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

- 2) Proses 2 – 3 (kondensasi), proses ini terjadi di kondensor dimana uap refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi tersebut kemudian masuk ke kondensor untuk melepas panas ke lingkungan hingga berubah fasa menjadi refrigeran cair bertekanan tinggi. Maka Persamaan 2 adalah:

$$q_k = h_2 - h_3 \tag{2}$$

Dimana:
 q_k = besarnya panas dilepas di kondensor (kJ/kg)
 h_2 = entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)
 h_3 = entalpi refrigeran saat saat keluar kondensor (kJ/kg)

- 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 refrigeran cair tersebut berubah fasa menjadi uap. Maka Persamaan 3 adalah:

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

- 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. Dapat diwakilkan dengan Persamaan 4 berikut:

$$Q_o = h_1 - h_4 \quad (4)$$

Dimana Q_o = besarnya panas yang diserap di evaporator (kJ/kg)
 h_1 = entalpi refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)
 h_4 = entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

Blast Freezer menurut Ilyas (1993), prinsip kerja *Air Blast Freezer* adalah udara beku bersuhu sangat rendah ditiupkan melalui gulungan pipa evaporator ke permukaan produk ikan oleh kipas yang mengedarkan ulang udara beku itu selama proses pembekuan. *Air blast freezer* juga dikenal dengan *rapid freezer*, yaitu mesin *freezer* yang mampu membekukan makanan hingga dibawah dengan sangat cepat. Pada mesin ini umumnya udara dingin dipancarkan secara berkala atau terus menerus ke arah makanan yang dibekukan. Dengan menggunakan mesin ini, kita dapat melakukan pengawetan bahan makanan untuk jangka panjang. Hampir semua mesin *blast freezer* mampu membekukan bahan makanan dengan sangat cepat. Hal tersebut tidak ditemukan di *freezer* biasa. Tergantung model dan ukurannya, pembekuan makanan pada mesin ini biasanya berada disuhu sampai . Bila dibandingkan dengan *shock freezer*, lama pembekuan produk pada *blast freezer* biasanya memakan waktu 30 hingga 90 menit, sedangkan pada *shock freezer* 90 hingga 120 menit.

Beban Pendinginan adalah 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. Beban pendinginan dihitung untuk mendapatkan kapasitas unit *cold storage* dengan komponen-komponen yang sesuai dengan kebutuhan. Sumber beban pendinginan berasal dari dalam dan luar ruang pendingin yang terjadi pada ruang penyimpanan daging meliputi:

Beban pendinginan dari faktor luar:

1. Beban pendinginan yang bersumber melalui dinding ruangan
2. Beban pendinginan yang bersumber dari atap ruangan
3. Beban pendinginan yang bersumber dari lantai ruangan
4. Beban pendinginan dari infiltrasi ruangan.

Beban pendinginan dari faktor dalam bersumber dari:

1. Beban pendinginan yang bersumber dari produk daging
2. Beban pendinginan yang bersumber dari orang

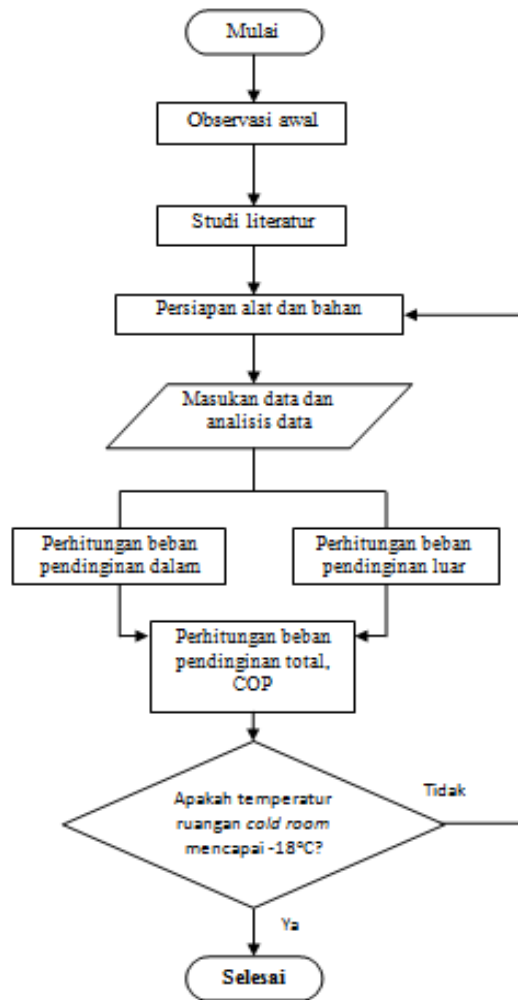
Beban pendinginan yang bersumber dari peralatan, yaitu motor *fan*, lampu dan lain-lain.

METODE

1. Langkah-langkah Kerja Penelitian

Adapun tahapannya sebagai berikut;

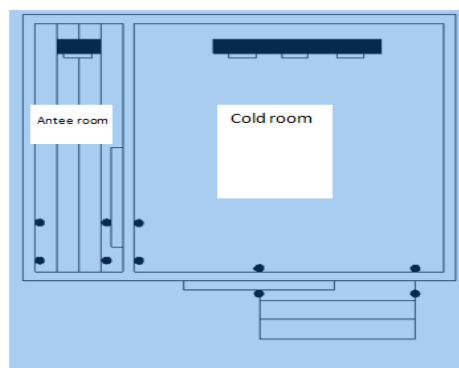
- a. Identifikasi dan pengumpulan informasi yang relevan tentang beban pendinginan *cold storage* untuk daging (literatur)
 - b. Observasi, mengamati langsung proses pembekuan daging dan penyimpanannya serta mempelajari cara kerja sistem pendinginnya.
 - c. Pengujian sistem, mengukur dan mengambil data-data yang diperlukan dalam penelitian.
 - d. Mengolah data hasil pengujian dan kemudian menganalisisnya.
 - e. Melakukan analisis dan menentukan kesimpulan.
2. Diagram penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3. Bahan dan Alat Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 unit *cold storage* bagian dengan refrigerant R404a dalam kondisi baik dan baru dibuat pada Januari 2018. Objek penelitian dapat dilihat dari Gambar 2. menggambarkan skema dari *cold storage/cold room* dan Tabel 3 spesifikasi *cold storage*. Alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. 2 Skema *cold room* yang akan di teliti

*unit *antee room* diabaikan

Gambar 2. Skema Cold Storage

Tabel 3 Spesifikasi *Cold Storage*

<i>Cold Room</i>	
Uraian	Penjelasan
Ukuran	$7 \times 6 \times 3,7 \text{ m}$
<i>Sliding door 1</i>	$2,4 \times 2,4 \text{ m}^2$ 1 unit
<i>Sliding door 2</i>	$2,4 \times 2,8 \text{ m}^2$ 1 unit
<i>Swing door</i>	$1 \times 2 \text{ m}^2$
Plastik/PVC Curtain	Pada setiap <i>sliding door</i> dan <i>swing door</i>
Ventilator ruangan	3
Waktu pendinginan	4 jam
Compressor	Semi <i>hermetic bitzer</i> 380 V, 10,27 kW
Freon	R404a
Temperatur Evaporator	2x suhu ruangan
Temperatur ruangan	-18°C
Produk yang didinginkan	Daging sapi
Jumlah produk	20 kg dalam 1 kardus, untuk menampung 2250 kardus atau 45 ton daging sapi dalam kardus.
Insulasi ruangan	PU tebal 100mm dilapis <i>colorbond steel</i> 0,5mm luar dan dalam
Temperatur lingkungan	$\pm 30^\circ \text{C}$
Operasional unit	24 jam
Jumlah lampu	4 pcs @ 80 Watt
Jumlah orang	1 orang dalam 1 jam
Evaporator	<i>Heatcraft</i> MHDE181 400V, 3P, 50 Hz, 13600 W



Thermometer Infrared



Pressure Gauge



Tang Ampere

Gambar 3. Alat Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Observasi Lapangan

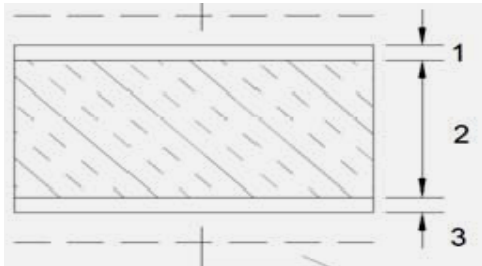
Berdasarkan hasil observasi untuk *cold room* pada Pembangunan Lapangan *Buffer Trucking Eks. Eastern* Polimer Kalibaru di pelabuhan Tanjung Priok, di peroleh sistem pendingin yang menggunakan 1 kondensasi unit. Kondensasi unit tersebut terdiri dari kompresor yang memompa refrigeran masuk ke pipa kapiler. Dan berdasarkan katalog, kompresor *bitzer* dengan kapasitas 20HP dan dapat digunakan untuk refrigeran R-404A. Temperatur disetting sebesar 18°C menggunakan temperatur *defrost control*. Sehingga operator hanya mengontrol 1 jam sekali untuk memastikan temperatur yang di inginkan sudah didapatkan. Defrost / es yang menempel pada evaporator akan terjadi selama 30 (tiga puluh) menit 3 (tiga) jam sekali. Ketika defrost terjadi maka mesin pendingin otomatis berhenti dan membiarkan es yang menempel mencair atau terbuang oleh ventilasi udara.

Perhitungan Beban Pendinginan dari Faktor Luar

Beban pendinginan yang berasal dari beban panas luar atau panas dari lingkungan *cold storage* seperti dinding, atap, dan kebocoran udara. Berikut hasil perhitungan beban pendingin dari faktor luar:

1. Beban transmisi dari dinding

Data :



Data material dinding:

1. *Colorbond steel*
 - a. Ketebalan: 0,5mm
 - b. Konduktivitas termal: $18,03 \frac{Btu}{h.F.ft^2}$ atau $31,2 \frac{W}{m^2.K}$
2. *Polyurethane*
 - a. Ketebalan: 100mm
 - b. Konduktivitas termal: $0,013 \frac{Btu}{h.F.ft^2}$ atau $0,0224 \frac{W}{m^2.K}$
3. *Colorbond steel*
 - a. Ketebalan: 0,5mm
 - b. Konduktivitas termal: $18,03 \frac{Btu}{h.F.ft^2}$ atau $31,2 \frac{W}{m^2.K}$

Luas dinding bagian kanan dan kiri:

$$L = p \times l$$

$$L = 3,7m \times 6,2m = 22,94 m^2$$

Luas dinding bagian depan dan belakang

$$L = p \times l$$

$$L = 7m \times 5,05 = 35,35 m^2$$

Luas dinding total

$$\Delta T = (T_A - T_B) \quad (5)$$

* T_A : Temperatur luar, T_B : Temperatur dalam

Nilai U faktor menggunakan Persamaan 6 Nilai h adalah koefisien panas konveksi udara secara bebas dengan nilai 30 W/m²K dengan asumsi h₁=h₂

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \left(\frac{\Delta x}{k} \right) + \frac{1}{h_2}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{30} + \left(\frac{0,0005}{31,2} + \frac{0,1}{0,0224} + \frac{0,0005}{31,2} \right) + \frac{1}{30}} = 0,220703 \frac{W}{m^2.K}$$

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

$$= 58,28 m^2 \times 0,220703 \frac{W}{m^2.K} \times 321,15^{\circ}K = 4131 W = 4,131 kW$$

Beban transmisi dari atap. Nilai U faktor didapatkan dari Persamaan 7

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{X_3}{k_3} + \frac{1}{f_i}}$$

$$f_i = 1,2 \frac{Btu/h}{ft^2/^{\circ}F} = 6,81 \frac{W}{m^2.K}$$

$$f_o = 4,0 \frac{Btu/h}{ft^2/^{\circ}F} = 22,7 \frac{W}{m^2.K}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{22,7} + \frac{0,0005}{31,2} + \frac{0,1}{0,0224} + \frac{0,0005}{31,2} + \frac{1}{6,81}}$$

$$= 0,214812 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

* f_i dan f_o didapat dari tabel 2.3

Luas atap

$$L = p \times l$$

$$= 7m \times 6,2m = 43,4m^2$$

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

$$= 43,4 m^2 \times 0,214812 \frac{W}{m^2 K} \times 321,15^\circ K = 2994,043 W = 2,99 kW$$

Beban transmisi dari lantai. Nilai U faktor dari Persamaan 7

$$U = \frac{1}{\frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{X_3}{k_3} + \frac{1}{f_1}}$$

$$f_i = 1,65 \frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} = 9,36 \frac{W}{m^2 K}$$

*nilai f_i didapatkan dari tabel 2.3

$$U = \frac{1}{\frac{0,0005}{31,2} + \frac{0,1}{0,0224} + \frac{0,0005}{31,2} + \frac{1}{9,36}}$$

$$U = 0,218 \frac{W}{m^2 K}$$

Luas atap = luas lantai, sehingga

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

$$= 43,4m^2 \times 0,218 \frac{W}{m^2 K} \times 321,15^\circ K = 3049,1 W = 3,04 kW$$

$$Q \text{ total dinding} = 4,131 kW +$$

2. perhitungan beban infiltrasi

Data:

- $Volume \text{ cold storage} = 155,4 m^3$
- Pertukaran udara dalam 24 jam dari Tabel 3 dengan rata-rata didapat pertukaran udara 6,8 kali 24 jam.
- Dari Tabel 3 didapat beban pertukaran udara untuk temperatur dalam *cold room* sebesar $18^\circ C$ dan temperatur luar *cold room* $\pm 30^\circ C$ adalah $29,5 kkal/m^3$

$$Q = \frac{v \times \text{pertukaran udara dalam 24 jam} \times \text{heat gain}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q = \frac{155,4 m^3 \times 6,8 \text{ kali} \times 29,5 kkal/m^3}{24 \text{ jam}}$$

$$Q = 1298,885 \frac{kkal}{h}$$

Sehingga dapat dirumuskan untuk jumlah beban pendingin dari luar sebagai berikut:

$$Q_{eksternal} = Q_{transmisi} + Q_{infiltrasi}$$

$$Q = 10,17 kW + 1,510 kW = 11,6 kW$$

Perhitungan Beban Pendinginan Faktor Dalam

Beban pendinginan yang berasal dari beban panas dalam *cold storage* seperti produk, pekerja, lampu penerangan, motor listrik

Perhitungan beban pendingin faktor dalam

Data

- Titik beku daging $= -1,7^\circ C / 274,7 K$
- Panas spesifik diatas titik beku $= 3,24 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

- c. Panas spesifik di bawah titik beku = $2,31 \frac{kJ}{kg.K}$
- d. Panas laten = $191 kJ/kg$
- e. Temperatur produk sebelum masuk *cold room* = $20^{\circ}C / 293 K$
- f. Waktu maksimal penyimpanan = 4bulan - 6bulan
- g. Massa produk = 20kg

1. Beban pendingin dari produk

$$Q_1 = m \times C_u \times \Delta T$$

$$= 20kg \times 3,24 \frac{kJ}{kg.K} \times (293 - 274,7)^{\circ}K$$

$$= 64,8 \frac{kJ}{K} \times 18,3^{\circ}K = 1185,84 kJ$$

$$Q_2 = m \times C_t$$

$$= 20 kg \times 191 \frac{kJ}{kg} = 3820 kJ$$

$$Q_3 = m \times C_u \times \Delta T$$

$$= 20 kg \times 2,31 \frac{kJ}{kg.K} \times (293 - 274,7)^{\circ}K$$

$$= 845,46 kJ$$

$$Q_{Total Produk} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Waktu pendinginan}$$

$$Q = \frac{11}{1}$$

$$Q = 0,0677 \frac{kJ}{detik} = 67 W$$

2. Beban pendingin dari pekerja

Data :

- a. Pekerja = 1 orang
- b. *Sensibel Heat Gain (SHG)* = **80 W**
- c. *Latent Heat Gain (LHG)* = **140 W**
- d. *Cooling Load Factor (CLF₁)* = 0,49
- e. *Storage Factor* = 0,78
- f. Faktor kelonggaran (BF) = 1,25 (1,18-1,30)
- g. Faktor beban pendingin lampu (CLF₂) = 0,72

$$Q_{sensible} = N \times SHG \times CLF$$

$$= 1 orang \times 80 W \times 0,49 = 39,2 W$$

$$Q_{latent} = N \times LHG$$

$$= 1 orang \times 140 W = 140 W$$

Jumlah total panas yang dikeluarkan oleh pekerja adalah:

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{latent}$$

$$= 39,2 W + 140 W = 179,2 W$$

3. Beban panas dari lampu penerangan

$$Q_{latent} = N \times daya lampu \times BF \times CLF \times SF$$

$$= 4 \times 18 W \times 1,25 \times 0,72 \times 0,78 = 50,541 W$$

4. Beban panas dari motor listrik

$$Q_m = \text{daya motor} \times \text{heat equivalen}$$

$$= 13600 \times 1 = 13600 \text{ Watt}$$

Didapatkan jumlah total keseluruhan beban pendinginan sebagai berikut:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{dalam}} + Q_{\text{luar}}$$

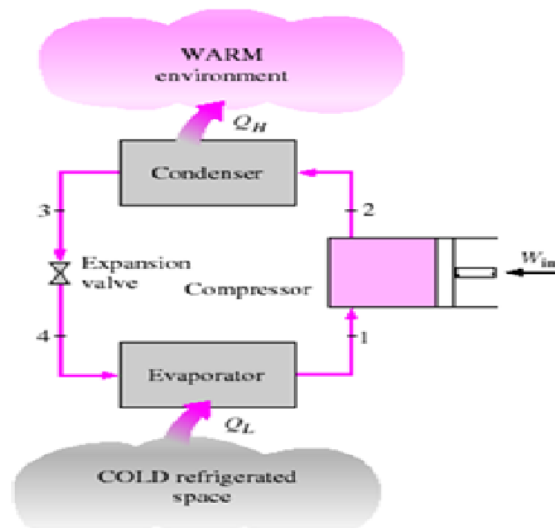
$$= 138,8 \text{ kW} + 11,6 \text{ kW} = 149,6 \text{ kW}$$

Faktor keamanan

$$SF_{\text{total}} = 149,6 \text{ kW} + (149,6 \text{ kW} \times 10\%) = 164,5 \text{ kW}$$

total keseluruhan adalah $= 149,6 \text{ kW}$

Data Pengukuran Refrigerasi



Gambar 4. 1 Siklus kompresi uap aktual

Sumber: Cengel Y.A., Boles M.A, 2006

Data pengukuran refrigerasi sesuai dengan skema gambar 4.2 siklus kompresi uap aktual. Dimana data yang di butuhkan adalah P1, P2, P3, P4 dan T1,T2,T3,T4. Berikut data hasil pengukuran refrigerasi *cold storage*:

Data pada jam ke - 0

- | | | |
|----|----------------------------------|----------|
| 1. | Tekanan input kompresor (P1) | = 19 bar |
| 2. | Tekanan output kompresor (P2) | = 36 bar |
| 3. | Tekanan output kondensor (P3) | = 24 bar |
| 4. | Tekanan input evaporator (P4) | = 18 bar |
| 5. | Temperatur input kompresor (T1) | = 30°C |
| 6. | Temperatur output kompresor (T2) | = 29,7°C |
| 7. | Temperatur output kondensor (T3) | = 26,3°C |
| 8. | Temperatur input evaporator (T4) | = 25°C |

Data pada jam ke - 1

- | | | |
|----|----------------------------------|----------|
| 1. | Tekanan input kompresor (P1) | = 18 bar |
| 2. | Tekanan output kompresor (P2) | = 38 bar |
| 3. | Tekanan output kondensor (P3) | = 25 bar |
| 4. | Tekanan input evaporator (P4) | = 19 bar |
| 5. | Temperatur input kompresor (T1) | = 36°C |
| 6. | Temperatur output kompresor (T2) | = 40°C |
| 7. | Temperatur output kondensor (T3) | = 38°C |
| 8. | Temperatur input evaporator (T4) | = 10,2°C |

Data pada jam ke-2

- | | | |
|----|-------------------------------|----------|
| 1. | Tekanan input kompresor (P1) | = 17 bar |
| 2. | Tekanan output kompresor (P2) | = 33 bar |
| 3. | Tekanan output kondensor (P3) | = 23 bar |
| 4. | Tekanan input evaporator (P4) | = 18 bar |

5. Temperatur input kompresor (T1) = 27,5°C
6. Temperatur output kompresor (T2) = 40,7°C
7. Temperatur output kondensor (T3) = 37,4°C
8. Temperatur input evaporator (T4) = 3,2°C

Data pada jam ke-3

1. Tekanan input kompresor (P1) = 16,8 bar
2. Tekanan output kompresor (P2) = 34,8 bar
3. Tekanan output kondensor (P3) = 23,5 bar
4. Tekanan input evaporator (P4) = 18,7 bar
5. Temperatur input kompresor (T1) = 20,7°C
6. Temperatur output kompresor (T2) = 40,2°C
7. Temperatur output kondensor (T3) = 37,5°C
8. Temperatur input evaporator (T4) = -18°C

Analisa Sistem Refrigerasi Dari Unit Cold Storage

1. Jumlah pendingin total adalah hasil dari beban pendingin dalam di jumlah beban pendingin luar
2. h_1 adalah entalpi dari rata-rata P1 dan T1
3. h_2 adalah entalpi dari rata-rata P2 dan T2
4. h_3 adalah entalpi dari rata-rata P3 dan T3
5. h_4 adalah entalpi dari rata-rata P4 dan T4

Data 1

Jumlah pendingin total	: 314,16 kW
Rata-rata P1,T1	: 17,7 bar, 28,55°C
Rata-rata P2,T2	: 33,45 bar, 37,65°C
Rata-rata P3, T3	: 23,87 bar, 34,8°C
Rata-rata P4,T4	: 18,425 bar, 5,1°C
h_1	: 383,9 kJ/kg
h_2	: 386,5 kJ/kg
h_3	: 381,7 kJ/kg
h_4	: 380,4 kJ/kg

Maka analisa yang terjadi pada sistem refrigerasi adalah:

1. Efek refrigerasi

$$RE = h_1 + h_2$$

$$= 383,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 386,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 769,4 \text{ kJ/kg}$$

2. Kerja kompresi

$$W_{komp} = h_2 - h_1$$

$$= 386,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 383,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1,6 \text{ kJ/kg}$$

3. Laju alir refrigeran

$$laju\ alir = \frac{\text{beban refrigerasi (kW)}}{RE}$$

$$= \frac{314,16 \text{ kW}}{769,4 \text{ kJ/kg}} = 0,408 \text{ kg/det}$$

4. Daya yang dibutuhkan oleh kompresor

$$\begin{aligned} \text{daya kompresor} &= \text{laju alir} \times \text{kerja komresi} \\ &= 0,408 \frac{\text{kg}}{\text{det}} \times 1,6 \text{ kJ/kg} = 0,65 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. Koefisien prestasi (COP)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{383,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 380,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{385,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 383,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2 \end{aligned}$$

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban pendingin luar adalah 11,6 kW.
2. Beban pendinginan dalam adalah 138,8 kW.
3. Koefisien kerja prestasi (COP) sebesar 2.

Saran

1. Menghasilkan hasil yang akurat maka diperlukan software yang berhubungan dengan analisa beban pendingin pada *cold storage*
2. Pengambilan data harus lebih lengkap, agar hasil analisa lebih akurat.
3. Kedepannya analisa beban pendingin *cold storage* ini bisa dikembangkan lagi dari segi kapasitas, refrigeran dan variabel-variabel lainnya.
4. Pengambilan data sebaiknya dilihat setiap kenaikan 1°C

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, HVAC *Fundamentals Handbook*, 2001.
- Ayu, Canny Cado Dwi Putri, 2017, *Analisis Unit Mesin Pendingin (Cold Storage) Untuk Produk Karkas Sapi Kapasitas 25 Ton Dengan Kombinasi Refrigerasi Kompresi Uap, Refrigerasi Absorpsi, Dan Flat Plat Solar Collector Di Kabupaten Pamekasan-Madura*, Surabaya, Jurnal Teknik ITS.
- Buntu, Topan Rombe, 2015, *Analisis Beban Pendingin Produk Makanan Menggunakan Cold Box Mesin Pendingin Lucas Nulle Type Rcc2*, Sam ratulangi, Jurnal Online Poros Teknik Mesin
- Cengel A. Yunus, 2008, *Introduction To Thermodynamics And Heat Stransfer 2nd Edition*, New York, McGraw-Hill.
- Dermawan, Erwin, dkk, 2017, *Analisa Perhitunagn Beban Kalor Dan Pemilihan Kompresor Dalam Perancangan Air Blast Freezer Untuk Membekukan Adonan Roti Dengan Kapasitas 250 Kg/Jam*, Jakarta, *Engineering and Sains Journal*
- DuPont Suva, 2005, *Thermodynamic properties of 404A Refrigerant*, USA.
- Hasan Syamsuri, dkk, 2008, *Sistem Refrigerasi Dan Tata Udara Jilid 2*, Jakarta, Departemen Pembinaan SMK.
- Murtono, Andi, dkk, 2015, *Analisis Beban Pendingin Cold Storage Pt. Sari Tuna Makmur Aertembaga Bitung, Sulawesi Utara*, Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap.
- Rahmat, Muhammad Rais, 2015, *Perancangan Cold Storage Untuk Produk Reagen*, Bekasi, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin
- Siagian, Saut, 2017, *Perhitungan Beban Pendingin Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada PT.X*, Jakarta, Bina Teknika.
- Stoker F. Wilbert, 1982, *REFRIGERASI DAN PENGKONDISIAN UDARA EDISI KEDUA*, Jakarta, Erlangga.
- Tondok, Yosua A.p, dkk, 2015, *Analisis Beban Pendinginan Pada Ruang Penyimpanan Produk Pertanian Untuk Sulawesi Urata Dengan Menggunakan Sistem Refrigerasi Bertingkat*, Sam Ratulangi, Jurnal Online Poros Teknik Mesin.
- Wang K. Shan, 2000, *Handbok Of Air Conditioning And Refrigeration Second Editiion*, New York, McGraw-Hill.
- Widyatmoko, 2015, *Perancangan, Perakitan Dan Pengukian Performa Mesin Pembuat Ice Cream Manual Kapasitas 5lt*, Sekayu, Jurnal Petra.