

RANCANG BANGUN MESIN REFRIGERASI *SHOWCASE* MENGUNAKAN R-404a

Hendradinata¹

¹Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Sekayu, Sekayu 30711, Indonesia

E-mail: Hendradinata_mr.@yahoo.com

ABSTRAK

Salah satu pengawetan yang sering diterapkan manusia dalam usaha untuk memperpanjang masa simpan suatu pangan adalah pendinginan. Banyak sekali bahan pangan atau makanan yang saat ini telah menjadi produk kebutuhan manusia dimana dalam pengolahannya mengalami proses pendinginan, salah satunya adalah produk Florida. Untuk menjaga kualitas Florida tetap dalam kondisi yang diinginkan dibutuhkan suatu alat yang dapat menunjang agar Florida tersebut tidak sampai rusak. Tujuan dari rancang bangun mesin *Showcase* ini adalah melakukan perhitungan total beban pendingin, dapat melakukan pemilihan komponen-komponen *showcase* sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan dan merancang alat *showcase* dengan kapasitas ¼ HP. *Showcase* adalah suatu media yang berfungsi sebagai pemajang suatu produk yang dapat menambah nilai jual dari produk. Pada perancangan dan pembangunan mesin *showcase* dilakukan secara bertahap. Dimulai dengan pengumpulan data, perhitungan beban pendingin meliputi: beban kalor konduksi, beban produk dan beban infiltrasi. Serta melakukan perhitungan sebagai metode untuk menentukan kapasitas daya yang dibutuhkan. Berdasarkan perancangan yang dilakukan maka komponen yang dihasilkan yaitu daya kompresor sebesar 158,154 W, daya kondensor sebesar 812,7 W, pipa kapiler panjang 1,50 M dengan diameter 0,28 mm dan daya evaporator sebesar 654,546 W, serta COP yang dimiliki sebesar 4,1.

Kata Kunci: Rancang Bangun, Refrigerasi, R-404a

2. Pendahuluan

2.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang refrigerasi dan pengkondisian udara mengalami kemajuan dengan pesat seiring berkembangnya zaman. Teknologi refrigerasi memberikan banyak keuntungan bagi manusia. Salah satu penggunaan sistem refrigerasi adalah manusia untuk industri penyimpanan dan pendistribusian produk. Sehingga produk yang disimpan dengan sistem refrigerasi tersebut dapat terjaga kualitas dan kesegarannya sampai waktu yang lama dan saat diperlukan untuk didistribusikan kepada konsumen. (Muhammad Rais Rahmat, 2015, hal:16)

Pada saat ini produk disimpan pada unit refrigerasi pada temperatur 10°C sampai 15°C. Pada unit refrigerasi tidak bisa menampung banyak produk karena keterbatasan tempat. Mengingat besarnya peranan sistem refrigerasi (pendinginan) dalam industri penyimpanan produk dan makin banyaknya produk yang dihasilkan sehingga menuntut agar produk tersebut tersimpan dalam kualitas yang baik dan jumlah yang cukup banyak, maka penulis tertarik untuk mengambil judul "Rancang Bangun Mesin *Showcase* Menggunakan Refrigeran R-404A".

2.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

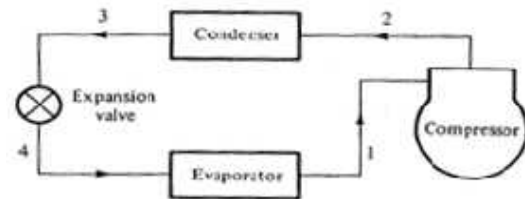
- 1) menciptakan *Showcase* yang hemat energi dan ramah lingkungan.
- 2) Melakukan perhitungan total beban pendingin *showcase*.

- 3) Dapat menghitung daya dari setiap komponen utama.
- 4) Dapat melakukan pemilihan komponen – komponen *showcase* sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan.

3. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

3.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam sistem refrigerasi. Pada siklus ini uap ditekan dan kemudian diembunkan menjadi cairan, lalu tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. (Stoecker dan Jones, 1982, hal:198)



Gambar 1. Siklus Kompresi Uap (Stoecker dan Jones, 1982, hal:198)

Cara kerja siklus kompresi uap :

a. Proses kompresi (1-2)

Proses ini terjadi di kompresor dimana uap refrigeran dengan tekanan dan suhu rendah yang masuk ke kompresor melalui *suction line* dikompresi didalam silinder kompresor sehingga suhu dan tekanan uap refrigeran yang keluar dari kompresor melalui

discharge line mengalami kenaikan. Proses yang terjadi didalam kompresor diasumsikan sebagai proses *isentropic* dan besarnya kerja kompresi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_w = (h_1 - h_2)$$

Dimana :

Q_w = besarnya kerja kompresi (kj/kg)

h_1 = *enthalphy* refrigeran saat masuk kompresor (kj/kg)

h_2 = *enthalphy* refrigeran saat keluar kompresor (kj/kg) (Dossat, R.J. 1961.)

b. Proses kondensasi (2-3)

Proses ini terjadi di kondensor dimana uap refrigeran dengan bertekanan dan suhu tinggi yang masuk ke kondensor melalui *suction line* dikondensasi didalam kondensor sehingga refrigeran yang keluar dari kondensor melalui *discharge line* berubah fasa dari fasa uap ke fasa cair. Besarnya kalor yang dilepas di kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_c = (h_2 - h_3)$$

Dimana :

Q_c = besarnya kalor yang dipindahkan kondensor (kj/kg)

h_2 = *enthalphy* refrigeran saat masuk kondensor (kj/kg)

h_3 = *enthalphy* refrigeran saat keluar kondensor (kj/kg) (Dossat, R.J. 1961.)

c. Proses ekspansi (3-4)

Proses ini terjadi di alat ekspansi dimana uap refrigeran cair yang berasal dari kondensor di ekspansi sehingga suhu dan tekanan refrigeran yang keluar dari alat ekspansi turun drastis dan selanjutnya masuk evaporator untuk menyerap kalor dari ruangan atau media yang hendak didinginkan. (Dossat, R.J. 1961.)

d. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini terjadi di evaporator dimana refrigeran cair yang masuk ke evaporator menyerap kalor dari ruangan atau media yang hendak didinginkan dengan adanya penyerapan kalor tersebut maka terjadi perubahan fasa dari cair menjadi uap jenuh. Besarnya kalor yang diserap di evaporator dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_e = (h_1 - h_4)$$

Dimana :

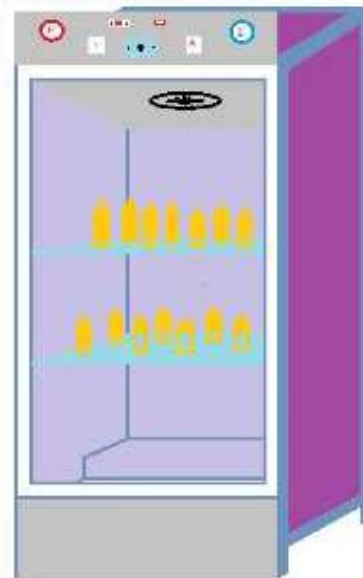
Q_e = besarnya kalor yang diserap evaporator (kj/kg)

h_2 = *enthalphy* refrigeran saat masuk evaporator(kj/kg)

h_3 = *enthalphy* refrigeran saat keluar evaporator (kj/kg) (Dossat, R.J. 1961.)

3.2. Rancang Bangun Showcase

Rancang bangun *showcase* adalah suatu mesin refrigerasi yang berguna untuk menjaga suatu produk minuman agar tetap dingin dan segar. Suatu produk minuman harus didinginkan dalam kondisi tertentu, tergantung dengan titik dingin dari setiap produk. Biasanya *showcase* memiliki suhu secara umum sebesar 5⁰C sampai 10⁰C. Kulkas dapat menjagamakanan (sayur dan buah) bertahan lebih lama saat disimpan di temperatur tepat di atas titik beku suhu inimemperlambat oksidasi makanan. Hal ini mengurangimultiplikasi bakteri dalam sel dan serat juga mengurangi penguapan (kehilangan cairan) darimakanan. Makanan memiliki sel, *enzyrnes*, koloid, air dan beberapa mikroorganisme, jika tidak disimpan disuhu dingin makanan akan rusak. Enzim adalah partikel kecil dari bakteri yang ada dalam zat makanan, enzim dapat menyebabkan pembusukan makanan dikarnakan oleh suhu rendah. Kebanyakan makanan segar dapat disimpan tiga hari sampai satu minggu pada suhu di atas 0⁰C sedangkan daging dan ikan harus disimpan dibawah suhu 32⁰F (0⁰C). (Althouse,dkk,2000, hal:382)



Gambar 2. Bentuk show case

2.4 Perhitungan Beban Pendingin

Perhitungan beban pendingin adalah suatu metode perhitungan yang dititik beratkan pada sebuah konsep perencanaan perancangan dalam sistem refrigerasi. Pada hal ini, perhitungan dilakukan dengan cara menghitung seluruh beban pendingin, sehingga suatu alat dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Adapun sumber utama beban pendingin yakni :

1. Beban kalor konduksi melalui dinding dan atap pada sistem pendingin (*showcase*).
2. Beban panas produk yang akan diletakkan didalam *showcase*.

3. Beban Infiltrasi

2.4.1 Perhitungan Beban Kalor Konduksi

Beban kalor konduksi adalah suatu panas dari luar pendingin yang berpindah melalui dinding, atap, maupun lantai. Pada hal ini, secara alami terjadi karena adanya beda *temperature* antara lingkungan sekitar dengan ruang pendingin. Oleh karena itu, untuk meminimalisir suatu perpindahan panas yaitu dengan cara mengisolasi dinding dengan bahan yang dapat menghambat laju perpindahan panas.

Persamaan untuk mencari beban transmisi : (ASHRAE, 2006. chapter 13)

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

Ket :

Q = beban panas yang mengalir (W)

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m².K)

A = luas permukaan bagian luar (m²)

ΔT = perbedaan antara suhu udara luar dan suhu udara ruang pendingin (K)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Ket:

h_i = koefisien panas daya konduksi dinding bagian dalam (W/m².K)

h_o = koefisien panas daya konduksi dinding bagian luar (W/m².K)

x = tebal dinding (m)

k = konduktivitas thermal (W/m.K)

2.4.2 Perhitungan Beban Produk

Floridina Orange menjadi komoditas jeruk dengan tingkat konsumsi terbesar karena kandungan vitamin, nutrisi, dan mineralnya termasuk yang paling lengkap. Selain itu, berkat tumbuh di daerah dengan suhu dan lingkungan paling tepat, maka Florida Orange rasa dan kualitasnya menjadi salah satu yang terbaik di dunia. Di tempat asalnya—Floridina—jeruk ini mempunyai keunikan. Yakni, Orange hanya dipetik saat benar-benar masak di pohon. Sehingga, ketika dipanen, semua kandungan terbaiknya sudah benar-benar maksimal berada dalam setiap buah jeruk. Dan, karena tumbuh pada suhu dingin yang tepat, rasa manis dan segar nya juga lebih maksimal. minuman dengan bulir buah utuh dan asli Floridina Orange.



Gambar 4. Floridina Orange

Tabel 1. Thermal Properties of Food (orange juice)(ASHRAE, 2006, Handbook-Refrigeration (SI) Chapter 9)

Food	Specific Heat (kJ/kg.K)	Freezing Point (°C)	Latent Heat of Fusion (kJ/kg)	Specific Heat Below Freezing (kJ/kg.K)	Freezing Point (°C)	Latent Heat of Fusion (kJ/kg)	Specific Heat Above Freezing (kJ/kg.K)
Apple	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Apricot	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Avocado	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Banana	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Blackberry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Blueberry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Cherry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Citrus Fruit	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Coconut	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Cranberry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Guava	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Kumquat	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Lemon	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Lime	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Mango	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Orange	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Peach	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Pineapple	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Raspberry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Strawberry	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Tangerine	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81
Watermelon	3.81	-1.1	202	1.78	-1.1	202	3.81

Beban produk adalah beban panas dari sebuah produk dari temperatur awal ke titik beku suatu produk tersebut. Perhitungan beban produk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (ASHRAE, 2006. chapter 13)

5. Panas yang dibuang dari temperatur awal ke temperatur dingin (diatas titik beku produk) sebagai berikut:

$$Q_1 = m \cdot c_1 (t_1 - t_2)$$

6. Panas yang dibuang dari temperatur dingin produk ke titik beku produk (Q_{sensible}) sebagai berikut :

$$Q_2 = m \cdot c_1 (t_1 - t_f)$$

7. Panas dibuang untuk membekukan produk (Q_{latent}) sebagai berikut :

$$Q_3 = m \cdot h_{if}$$

8. Panas yang dibuang dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan sebagai berikut :

$$Q_4 = m \cdot c_2 (t_f - t_3)$$

Keterangan :

Q₁, Q₂, Q₃, Q₄ = panas yang dibuang, (kJ)

m = massa produk (kg)

c₁ = specific heat of product above freezing (kJ/kg.K)

c₂ = specific heat of product below freezing (kJ/kg.K)

t₁ = initial temperature of product above freezing (°C)

t₂ = lower temperature of product above freezing (°C)

t₃ = final temperature of product below freezing (°C)

t_f = freezing temperature of product (°C)

h_{if} = latent heat of fusion of product kJ/kg

$$Q_{\text{produk}} = \frac{Q_{\text{above}} + Q_{\text{below}} + Q_{\text{laten}}}{\text{waktu pendingin}}$$

2.4.3 Perhitungan Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi dalah beban panas yang

terjadi karena adanya pertukaran udara. Udara yang telah dingin didalam *showcase* akan keluar dan udara lingkungan akan masuk ke dalam *showcase*. Beban ini dapat dihitung dengan persamaan :

(ASHRAE, 2006. chapter 13)

$$Q_t = q \cdot Dt \cdot Df \cdot (1-E)$$

Ket:

- Q_t = rata-rata *heat gain* untuk 24 jam (kW)
- q = beban pendingin sensibel dan laten untuk aliran secara menyeluruh (kW)
- Dt = faktor waktu pintu terbuka
- Df = *doorway flow factor* (0.8)
- E = *effectiveness of doorway protective device* (0.95)

$$Dt = \frac{(P\Theta_p + \Theta_o)}{3 \Theta_d}$$

Ket:

- Dt = *decimal portion of time doorway is open*
- P = jumlah pintu (1)
- Θ_p = waktu pintu terbuka dan tertutup (detik)
- Θ_o = lama waktu pintu terbuka (menit)
- Θ_d = waktu dalam sehari (jam)

Tabel 2. Sensible Heat Ratio R_s , for Infiltration

Outdoor Cond.		Cold Space at 90% rh Dry Bulb Temperature, °C										
DB °C	WB rh, %	-30	-25	-20	-15	-10	5	0	5	10	15	
30	19.7	50	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67
	21.0	40	0.71	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
	24.9	30	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.55	0.56	0.62
	25.0	60	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.48	0.49
35	19.0	20	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.79	0.81	0.86	—
	21.6	30	0.77	0.73	0.69	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.73	0.86
	24.0	40	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.58	0.63
	26.3	50	0.61	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.50
	28.3	60	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41
40	20.7	20	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.75	0.82	0.98
	23.6	30	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.61	0.67	0.86
	26.2	40	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.52
	28.6	50	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.43	0.42

(ASHRAE, 2006. chapter 13)

$$q = 0.577 \cdot W \cdot H^{1.5} (Q_s / A) \cdot (1/R_s)$$

Ket:

- Q = beban pendingin sensibel dan laten (kW)
- Q_s/A = beban panas sensibel infiltrasi udara per pintu terbuka.
- W = lebar pintu keluar masuk (0,43 m)
- R = rasio panas sensibel infiltrasi udara.

2.5 Safety Factor

Umumnya, beban dihitung dengan faktor 10 % untuk memungkinkan kemungkinan perbedaan antara kriteria desain dan operasi aktual. *Safety factor* adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum. (ASHRAE, 2006. chapter 13 hal 13.7)

$$Safety\ factor = Q_{transmisi} + Q_{infiltrasi} + Q_{produk} \times 10\%$$

2.6 Coefficient of Performance (COP)

Kualitas unjuk kerja suatu sistem refrigerasi yang dapat dinyatakan dengan suatu angka hasil perbandingan antara energi yang diserap dari udara ruang dan energi yang digunakan untuk mengkompresi gas di kompresor. Perbandingan kedua energi tersebut lazim disebut sebagai koefisien unjuk kerja dari siklus refrigerasi atau *Coefficient Of Performance* (COP). (Hasan, dkk. 2008 hal 153).

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Ket :

- Q_{in} = jumlah kalor yang diserap evaporator ,(Watt)
- COP = *Coefficient Of Performance*
- W_k = Daya kompresor, (Watt)

2.7 Pemilihan Komponen

Dalam proses menentukan komponen – komponen diharapkan dapat melakukan perhitungan terlebih dahulu agar penentuan kapasitas dapat lebih efisien. Dan jika suatu produk pasaran (*market*) tidak ada yang sama dengan kapasitas yang dibutuhkan, maka dapat digunakan suatu komponen yang lebih besar kapasitasnya atau yang lebih mendekati nilai yang sebenarnya.

e. Kompresor

Dalam konsep rancang bangun *showcase* kue, komponen yang dipilih tidak boleh lebih rendah dari kapasitas pendinginan yang direncanakan, karena komponen-komponen refrigerasi yang digunakan tidak boleh bekerja terlalu berat. Untuk menentukan komponen kompresor, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : (Moran dan Shapiro, 2006)

$$\dot{W}_k = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\dot{m} = Q_{in} / ER$$

Ket :

- \dot{W}_k = daya kompresor (kJ/s)
- \dot{m} = laju aliran refrigerant (kg/s)
- Q_{in} = jumlah kalor yang diserap evaporator ,(Watt)
- ER = dampak refrigerasi ($h_1 - h_4$) (kJ/kg)
- h_2 = *enthalpy* pada titik 2 (kJ/kg)
- h_1 = *enthalpy* pada titik 1 (kJ/kg)

f. Kondensor

Untuk menentukan komponen kondensor, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : (Moran dan Shapiro, 2006 hal.473)

$$Q_k = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

Ket :

- Q_k = besarnya kalor yang dilepas kondensor (kW)
 - \dot{m} = laju aliran refrigerant (kg/s)
 - h_2 = *enthalpy* pada titik 2 (kJ/kg)
 - h_3 = *enthalpy* pada titik 3 (kJ/kg)
- g. Pipa Kapiler
Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan

berdasarkan jenis refrigeran, kapasitas pendinginan, temperatur evaporasi, temperatur kondensasi dan *suction* temperatur yang direncanakan.

h. Evaporator

Untuk menentukan komponen evaporator, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : (Moran dan Shapiro, 2006 hal.473)

$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

Ket :

Q_e = besarnya beban pendingin (kW)

\dot{m} laju aliran refrigerant (kg/s)

h_1 = *enthalpy* pada titik 1 (kJ/kg)

h_4 = *enthalpy* pada titik 4 (kJ/kg)

3.3. Refrigeran R-404A

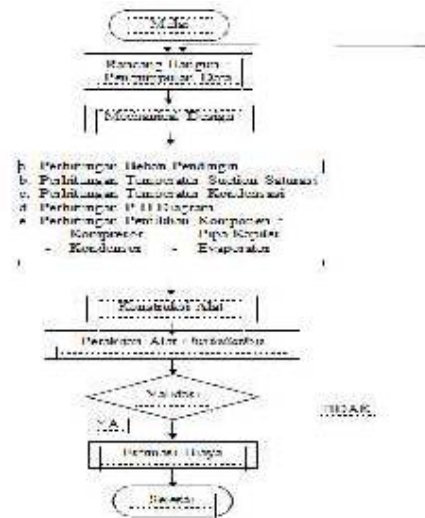
Refrigeran R404 adalah HFC (Hidroflorocarbon) yang telah diperuntukkan untuk pendinginan komersial dimana sekarang diterapkan secara luas. Ini memiliki kinerja superior pada HFCs lainnya dalam aplikasi danagan suhu rendah dan juga menunjukkan suhu penukar kompresor rendah yang membuatnya sesuai untuk kompresi satu tahap yang menghindari kebutuhan akan tahap pendinginan. (Hundy, G.F., Troot, A.R., and Wech, T.C. 2002 hal: 39)



Gambar 2.2 Refrigeran R-404a

4. Metodologi Pembuatan

4.1. Perancangan Mesin Showcase



Gambar 5. Diagram alir perncangan

3.2 Perhitungan Rancang Bangun mesin Showcase

Showcase ini dibuat untuk proses penyimpanan kue dengan kapasitas lebih kurang 36 liter, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- g. Dimensi ruang penyimpanan showcase yaitu 40 cm x 43 cm x 112 cm dengan volume $192640 \text{ cm}^3 = 0,19264 \text{ m}^3$
- h. Suhu evaporator yang direncanakan yaitu -7°C
- i. Suhu ruangan yang direncanakan yaitu 3°C
- j. Suhu kondensasi 43°C
- k. Suhu lingkungan 32°C
- l. Jenis material penyimpanan adalah plastik, polystyren, aluminium, kaca.

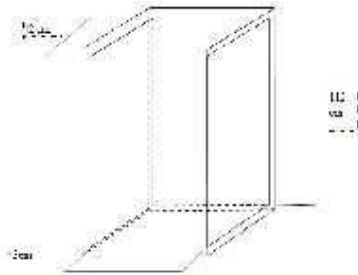
4.2. Beban Kalor Konduksi

a. Dimensi Showcase

Pada showcase terdapat sisi-sisi yang dilapisi dengan beberapa material, setiap sisi memiliki nilai konduktivitas dan ketebalan yang berbeda – beda. Dalam perancangan showcase ini terdapat enam sisi yang diantaranya terdiri dari:

- a. Sisi atas
- b. Sisi bawah
- c. Sisi depan
- d. Sisi belakang
- e. Sisi samping kanan
- f. Sisi samping kiri

Pada showcase ini terdapat tiga material dan tiga lapisan, yaitu material plastic Styrofoam dan Aluminium, Setiap sisi showcase mempunyai dimensi lapisan yang berbeda yang terdiri dari 3 lapisan, yaitu:



Gambar 6. Desain mesin showcase

Tabel 2. Jenis bahan atau struktur dinding pada mesin sowlcase

No	Bahan	Ketebalan	Konduktivitas Thermal (W/m.k)	Ket
1	Aluminium	0,002	237	Body luar
2	Polystyrene	0,025	0,027	Lapisan kabin
3	Plastik	0,005	0,15	Kabin
4	Kaca	0,005	1,053	Pintu
5	besi	0,005	80,2	Kerangka

Diketahui :

- g. Jenis material yang digunakan pada ruang penyimpanan adalah plastik, polystyren, aluminium.
- h. Tebal material (x) = 0,042 m
- i. Temperatur lingkungan (t_o) = 32 °C
- j. Temperatur penyimpanan (t_i) = 3 °C
- k. Nilai konduktivitas thermal material = 318,43 W/m.K
- l. Nilai h_i dan h_o = 1,6 W/m.K (Chapter 13 Refrigeration Load)

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

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,042}{318,43} + \frac{1}{1,6}}$$

$$U = 1,596 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = t_o - t_i$$

$$= 32 - 3$$

$$= 29 \text{ K}$$

Penyelesaian :

Data ruang dimensi *showcase* ini sudah ditetapkan dari pabrik, tetapi kita harus tetap mengukur ulang nilai dari dimensi guna untuk menghitung baban transmisi. Ukuran ruangan *showcase* yaitu:

$$\text{Panjang} = 40 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lebar} = 43 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tinggi} = 112 \text{ cm}^2$$

- 4. Beban kalor konduksi melalui dinding
Daftar simbol konduksi melalui dinding
AB = luas dinding belakang

AD = luas dinding depan

AKK = luas kiri kanan

AA = luas atap

Luas dinding sisi depan dan dinding sisi belakang :

$$A_B = (P \times T) \text{ (dinding bagian belakang)}$$

$$= (40 \text{ cm} \times 112 \text{ cm})$$

$$= 4480 \text{ cm}^2$$

$$= 0,448 \text{ m}^2$$

$$A_D = (P \times T) \text{ (dinding bagian depan)}$$

$$= (44 \text{ cm} \times 103 \text{ cm})$$

$$= 4532 \text{ cm}^2$$

$$= 0,453 \text{ m}^2$$

$$A_B + A_D = 0,448 \text{ m}^2 + 0,453 \text{ m}^2 = 0.901 \text{ m}^2$$

Luas dinding sisi kiri dan dinding sisi kanan :

$$A_{KK} = 2 \cdot (P \times L) \text{ (dinding kiri-kanan)}$$

$$= 2 \cdot (40 \text{ cm} \times 43 \text{ cm})$$

$$= 3440 \text{ cm}^2$$

$$= 0,344 \text{ m}^2$$

Luas total dinding :

$$A_{DB} + A_{KK} = 0.901 \text{ m}^2 + 0,344 \text{ m}^2$$

$$= 1,24 \text{ m}^2$$

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

$$= 1,596 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 1,24 \text{ m}^2 \cdot 29 \text{ K}$$

$$= 57,39 \text{ W}$$

- 5. Beban kalor konduksi melalui atap

Luas atap :

$$A_A = (P \times L) \text{ (atap)}$$

$$= (40 \text{ cm} \times 43 \text{ cm})$$

$$= 1720 \text{ cm}^2$$

$$= 0,172 \text{ m}^2$$

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

$$= 1,596 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,172 \text{ m}^2 \cdot 29 \text{ K}$$

$$= 7,96 \text{ W}$$

- 6. Total beban kalor konduksi

$$Q_{\text{total transmisi}} = Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{atap}}$$

$$= 57,39 \text{ W} + 7,96 \text{ W}$$

$$= 65,35 \text{ W}$$

Maka Q_{total} tranmisi yang didapat sebesar 65,35 W

b. Beban Produk

- a. Temperatur lingkungan = 32 °C
- b. Massa produk yang direncanakan = 36 liter.
- c. Temperatur penyimpanan = 3 °C

Tabel 3. Thermal Properties of Food (orange juice)

(ASHRAE, 2006, Handbook-Refrigeration (SI) Chapter 9)

Penyelesaian :

$$\Delta T = 32 - 3$$

$$C_1 = 3,90 \text{ kJ/kg.K (Tabel 3.4)}$$

$$= 29 \text{ K}$$

$$Q_{\text{orange juice}} = m \cdot c_1 (t_1 - t_2)$$

$$= 36 \text{ liter} \cdot 3.90 \text{ kJ/kg.K} \cdot 29 \text{ K}$$

$$= 4071 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{produk}} = \frac{Q}{\pi(3)}$$

$$= \frac{4}{4.5 \text{ jam} (3)}$$

$$= \frac{4 \text{ k}}{1 \text{ s}}$$

$$= 0,251 \text{ kJ/s}$$

$$= 25,1 \text{ W}$$

Catatan : Untuk beban produk perhitungan pada Q laten dan Q below tidak dihitung karena perencanaan temperatur penyimpanan/kabin ialah 5°C tidak sampai minus (-) sehingga tidak terjadi perubahan fasa pada produk. Seperti yang diketahui Qlaten ialah panas yang dibuang untuk membekukan produk, sedangkan produk yang direncanakan tidak sampai dibekukan. Maka Qproduk yang didapat sebesar 23,4 W

c. Beban Infiltrasi

Diketahui :

- g. Df = 0,8
- h. E = 0,95
- i. W = 0,43 m
- j. H = 0,43 m
- k. Qs/A = 6 kW/m²
- l. Rs = 0,62

Penyelesaian :

$$Q_t = q \cdot Dt \cdot Df \cdot (1-E)$$

$$= 0,412 \text{ kW} \cdot 0,0203 \cdot 0,8 \cdot (1-0,95)$$

$$= 0,412 \text{ kW} \cdot 0,0203 \cdot 0,8 \cdot 0,05$$

$$= 0,0003345 \text{ kW}$$

$$= 0,334 \text{ W}$$

$$Dt = \frac{(F0 + 6 \theta_u)}{3 \theta_d}$$

$$= \frac{(1,2 + 6 \cdot 5)}{3 \cdot 4,5}$$

$$= \frac{(1,2) + (6 \cdot 5)}{3 \cdot 4,5}$$

$$= \frac{1}{3}$$

$$= 0,0203$$

$$q = 0,577 \cdot W \cdot H^{1,5} (Q_s / A) \cdot (1/R_s)$$

$$= 0,577 \cdot 0,43 \text{ m} \cdot (0,43 \text{ m})^{1,5} \cdot (6 \text{ kW/m}^2) \cdot (1/0,62)$$

$$= 0,577 \cdot (0,43 \text{ m} \cdot 0,172 \text{ m}) \cdot (6 \text{ kW/m}^2) \cdot (1,612)$$

$$= 0,577 \cdot 0,07396 \text{ m}^2 \cdot (6 \text{ kW/m}^2) \cdot (1,612)$$

$$= 0,412 \text{ kW}$$

Qt = rata-rata heat gain untuk 24 jam (kW)
 q = beban pendingin sensibel dan laten untuk aliran secara menyeluruh (kW)
 Dt = faktor waktu pintu terbuka

d.Total Beban Pendingin

Qfan = 21 watt

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{fan}}$$

$$= 65,35 \text{ W} + 25,1 \text{ W} + 0,334 \text{ W} + 21 \text{ W}$$

$$= 111,784 \text{ W}$$

Equipment Capacity (EP) = $Q_{\text{total}} \times 24 / \text{running time}$

$$= 111,784 \text{ W} \times 24 \text{ jam} / 4,5 \text{ jam}$$

$$= 596,181 \text{ W}$$

$$Q_{\text{safety}} = EP \times 10\%$$

$$= 596,18 \text{ W} \times 10\%$$

$$= 59,618 \text{ W}$$

$$Q_{\text{in total}} = EP + Q_{\text{safety}}$$

$$= 596,18 \text{ W} + 59,618 \text{ W}$$

$$= 655,79 \text{ W}$$

$$= 0,655 \text{ kJ/s}$$

4.3. Temperatur Suction Saturasi Dan Kondensasi

3. Temperatur Suction Saturasi (Evaporasi)
 - Temperatur penyimpanan = 3 °C
 - Temperature Differenc = 10 K (Didapat dari tabel 2.4)
 - Refrigerant Temperature = Room Temp. – Temp. Difference = 3 °C – 10 K = -7 °C

Tekanan suction Refrigeran R-404a pada saat suhu -5 °C = 2,7 bar
 Jadi, temperature evaporasi = -7 °C
 Tekanan 2,7 bar didapat dari tabel R-404a.
4. Temperatur Kondensasi
 - Temperatur Evaporasi = -7 °C
 - Temperatur Lingkungan = 32 °C
 - Beda Temperatur = 11 °C (Didapat dari tabel 2.5)

- Temperatur Kondensasi=Temp. Lingkungan +
 Beda Temperatur = 32 °C + 11°C= 43°C
 Tekanan R404a pada suhu 43°C = 10,6 bar
 Jadi, temperatur kondensasi = 43 °C
 Tekanan 10,6 bar didapat dari table R404a

4.4. Coefficient Of Performance (COP)

Diketahui :
 $Q_{in} = 0,655 \text{ kJ/s}$
 $W_k = 0,158154 \text{ kJ/s}$
 $COP = \frac{Q}{W}$
 $= \frac{0,65 \text{ kJ/s}}{0,1 \text{ kJ/s}} = 4,1$

5. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil penelitian pada jenis refrigeran R-404a dida pat data sebagai berikut:

Tabel 4. Tekanan R-404a

Refrigeran	low (psi)	high (psi)	kabin (°C)	Evap (°C)	konden (°C)
R-404a	32	155	3	-7	43

Tabel 5. Hasil Pengambilan Data R-404A

time	low (psi)	high (psi)	Arus (A)	Volt (V)	kabin (°c)	t1 (°c)	t2 (°c)
15	32	145	1,3	220	11,3	-1,4	52,5
30	32	145	1,3	220	8,2	-2,3	53,2
45	32	145	1,3	220	7,5	-3,9	55,5
60	32	145	1,3	220	5,8	-4,7	57,5
75	32	145	1,3	220	4,6	-5,7	57,4
90	32	145	1,3	220	3,2	-7,5	57,9

Tabel 6. Coefficient Of Performance (COP)

R-404a
3,6
3,4
3,2
2,9
2,9
2,7

6. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan pada rancang bangun *showcase* kapasitas 36 liter dengan menggunakan kompresor 1/4 HP, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- g. Rancang bangun *showcase* menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap.
- h. Perhitungan dan perencanaan p-h diagram menggunakan tabel R-404A
- i. Dimensi ruang penyimpanan *showcase* yaitu 40 cm x 43 cm x 112 cm dengan volume $192640 \text{ cm}^3 = 0,19264 \text{ m}^3$
- j. Berdasarkan hasil perhitungan beban pendingin yang dihasilkan adalah beban produk 25,1 W, beban kalor konduksi 65,35

W, beban infiltrasi 0,334 W, *equipment capacity* 596,18 W dan *safety factor* 10 % dengan total beban pendingin sebesar 655,79W, $Q_{in}=0,655 \text{ kJ/kg}$.

- k. Temperatur evaporasi -7°C dengan tekanan 2,7bar dan temperatur kondensasi 43°C dengan tekanan 10,6 bar.
- l. Berdasarkan hasil perhitungan komponen yang dibutuhkan seperti: kompresor dengan kapasitas 158,154 W, kondensor dengan kapasitas 812,7W, evaporator dengan kapasitas 654,546W dan pipa kapiler dengan panjang 1,50 m dan diameter 0,28 mm dengan COP 4,1.

DAFTAR PUSTAKA

Althouse Dkk.2000. *Modern Refrigeration And Air Conditionong.*, the coodheat-willcox company, America.
 ASHRAE. 2006. *ASHRAE Handbook of refrigeration. American society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning: Inc*
 Dossat,R.J.1961.*Principle Of Refrigeration2nd Edition*, New York : John Wiley and Son, Inc.
 G.F.Hundy.,A.R.Troot.,danT.C.Welch.2008, *Refrigeration and Air Conditioning*.Edisi 4.Oxford : Elseiver Ltd.
 Hasan, Syamsuri dan Sapto Widodo. 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara Jilid 1*. Jakarta.
 M.J. Moran And H.N. Shapiro. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5Th Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
 Muhammad Rais Rahmat. 2015, “Perancangan Cold Storage Untuk Produk Reagen” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No.1 Februari. Universitas Islam 45 Bekasi.
 Stoecker, Jones. 1982. *Refrigeration And Air Conditionong, 3RD RD.*, Butterworth-Heineman, new dhelhi.
<http://siklus-refrigerasi-kulkas>, diakses pada tanggal 21 februari 2017