

## **PERANCANGAN, PERAKITAN, DAN PENGUJIAN PERFORMA MESIN PEMBUAT ES KRIM MANUAL KAPASITAS 5 LITER**

Widiyatmoko

Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Sekayu,

*E-mail: wididasyat@gmail.com*

### **ABSTRAK**

Es krim merupakan salah satu es sajian berbentuk beku yang dibuat dengan cara membekukan campuran produk susu, gula, penstabil, pengemulsi dan bahan-bahan lainnya. Es krim dapat dibuat secara manual, menggunakan *freezer refrigerator* ataupun mesin *ice cream maker*. Mesin pembuat es krim memiliki harga yang cukup mahal untuk dimiliki oleh individu. Sehingga untuk mengatasi hal ini dapat dirancang, dirakit, dan diuji sebuah mesin pembuat es krim dengan biaya rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui total beban pendingin, untuk mengetahui biaya perakitan mesin dan pembuat es krim, untuk mengetahui COP perancangan dan hasil interpolasi pengujian. Metode yang digunakan meliputi 3 tahap yaitu perancangan, perakitan, dan pengujian mesin pembuat es krim. Metode tersebut dapat dijabarkan menjadi studi literatur, observasi, dan eksperimental dengan variasi beban pendingin. Tahap yang dilakukan meliputi perancangan mesin es krim, perencanaan biaya, perakitan, dan pengujian COP. Pengujian COP dilakukan dengan pengambilan data temperatur, tekanan, tegangan listrik, dan arus listrik dengan perbedaan waktu 10 menit. Beban yang digunakan adalah es krim dengan variasi volume. Berdasar seluruh proses penelitian, dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa beban total pendingin perencanaan adalah 517,6 watt, total biaya perakitan adalah Rp 1.898.000, proses perakitan tidak sempurna menyebabkan adanya perbedaan COP perencanaan dan interpolasi linier hasil pengujian, COP perencanaan pada kapasitas 5 liter adalah 2, sedangkan COP hasil interpolasi pengujian adalah 3,365

**Kata kunci:** *perancangan, perakitan, pengujian, biaya perakitan, es krim, COP, total beban pendingin,*

### **1. Pendahuluan**

#### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini refrigerasi memiliki peran penting dalam kehidupan baik kehidupan industry maupun rumah tangga untuk meningkatkan kenyamanan, maupun hasil produksi. Hasil produksi pada industry terutama pada bidang pangan membutuhkan teknologi refrigerasi untuk memaksimalkan kualitas produk. Pada kehidupan rumahtangga, refrigerasi banyak dijumpai *refrigerator* atau tempat penyimpanan makanan, minuman, sayuran maupun buah-buahan. Pada mesin pendingin biasanya terdapat bagian khusus untuk pembekuan. Pada lokasi ini umumnya digunakan untuk pembuatan es. (sumber : <http://www.kamusilmiah.com> diakses tanggal 10 mei 2015)

Es didalam kehidupan sehari-hari juga memiliki peran penting, baik untuk pengawetan ataupun sajian. Es untuk pengawetan biasanya digunakan untuk mendinginkan atau menurunkan

temperature seperti ikan, udang dan sebagainya. Es untuk sajian dapat berupa es krim, eskubus, ataupun esbalok. Es krim merupakan salahsatu jenis makanan berbentuk beku yang dibuat dengan cara membekukan campuran produk susu, gula, penstabil, pengemulsi dan bahan-bahanlainnya yang telah dipasteurisasi dan dihomogenisasi untuk memperoleh hasil yang seragam. (Darma, G., Puspitasari, D., dan Noerhartati, E., 2013).

Es krim dapat dibuat secara manual, menggunakan *freezer refrigerator* atau mesin pembuat es krim. Mesin pembuat es krim biasanya memiliki harga yang cukup mahal untuk dimiliki oleh individu dan proses pembuatan es membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga menyebabkankebanyakan orang lebih memilih yang instan yakni es yang dibuat oleh mesin pabrik. Untuk mengatasi harga mesin pembuat eskrim yang mahal, perlu dirancang, dirakit mesin pembuat es

krim manual yang biaya (cost) atau harga jual beli yang terjangkau.

Mesin pembuat es krim manual yang dirancang maupun dirakit, perlu diuji untuk mengetahui performanya.

## 1.2 Perumusan masalah

Setiap mesin refrigerasi yang ingin dibangun dan diuji dapat dirumuskan permasalahan :

- 1) Berapa total beban pendingin mesin es krim yang dirancang?
- 2) Berapa besar COP perancangan?
- 3) Berapa besar COP pengujian?
- 4) Berapa biaya total perakitan mesin pembuat es krim manual?

## 1.3 Tujuan

Dari latar belakang dan perumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui total beban pendingin
- 2) Untuk mengetahui biaya perakitan mesin dan pembuat es krim
- 3) Untuk mengetahui COP perancangan dan hasil interpolasi pengujian

## 2. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

### 2.1 Es krim

Es krim (es krim biasa) adalah makanan beku terbuat dari produk berbahan baku susu, seperti susu dan krim, dikombinasikan dengan perasa dan pemanis seperti gula. Campuran ini diaduk perlahan-lahan selama proses pendinginan untuk mencegah kristas es besar membentuk, yang hasilnya adalah es krim bertekstur lembut (<http://wikipedia.com>, diakses tanggal 11 juli 2015). Menurut Standar Nasional Indonesia, es krim adalah sejenis makanan semi padat yang dibuat dengan cara pembekuan tepung es krim atau campuran susu, lemak hewani maupun nabati, gula, dan dengan atau tanpa bahan makanan lainyang diizinkan. Di

pasaran, es krim digolongkan atas kategori *economy, good average dan deluxe*.

### 2.2 Pengertian Sistem Refrigerasi

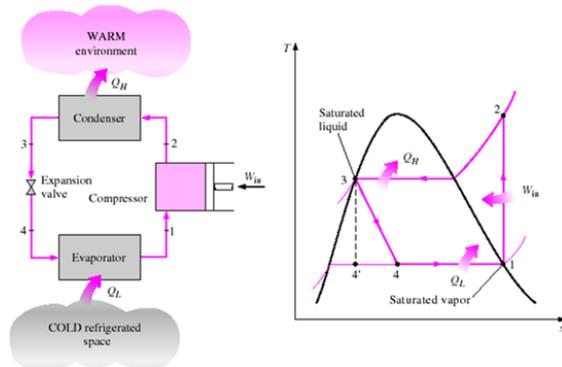
Refrigerasi adalah metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada di bawah temperatur lingkungan. Karena temperatur ruangan yang terkondisi tersebut selalu berada di bawah temperatur lingkungan, maka ruangan akan menjadi dingin, sehingga refrigerasi dapat juga disebut dengan metode pendinginan (Dalimunthe, I.S, 2004). Refrigerasi adalah proses pendinginan yang mana dalam tahapan ini membutuhkan proses penghapusan kalor panas dan membuangnya pada suhuyang lebih tinggi. Oleh karena itu Refrigerasi adalah ilmu perpindahan panas dari temperatur rendah ke temperatur yang lebih tinggi. Selain aplikasi pendinginan dan pembekuan, teknologi pendinginan diterapkan dalam pengkondisian udara dan pompa panas. (Hundy,G.F., Trott,A.R., dan Welch, 2008).

### 2.3 Sistem Kompresi Uap

Sistem refrigerasi yang dipakai pada mesin pembuat es krim merupakan sistem refrigerasi kompresi uap biasa sama seperti halnya pada lemari es dimana terdapat kompresor, kondensor, alat ekspansi, (pipa kapiler) dan evaporator serta komponen pendukung lainnya, yang membedakan hanya temperatur kerjanya saja. Gambar 1 berikut menunjukkan diagram dari sistem refrigerasi kompresi uap.

Pada siklus kompresi uap, refrigeran memasuki kompresor pada tahap pertama dalam bentuk uap dan dikompres secara isentropis mencapai tekanan kondenser. Temperatur refrigeran meningkat selama proses kompresi. Kemudian refrigeran memasuki kondensor pada kondisi gas pada tahap dua dan meninggalkannya pada kondisi cair pada tahap tiga karena kalor yang

dilepaskan ke lingkungan. Temperatur refrigeran pada tahap ini masih di atas temperatur lingkungan. Refrigeran cair memasuki pipa kapiler (ekspansi), sehingga mengalami penurunan tekanan akibat diameter pipa yang berbeda. Pada pipa kapiler, mengalami penurunan temperatur dan tekanan. Kemudian refrigeran cair dialirkan melalui evaporator, mengalami perubahan fasa dari cair ke gas melalui proses evaporasi, kemudian kembali lagi ke kompresor (Çengel Y. A., Boles M. A., 2006).



Gambar 1. Skema siklus kompresi uap (Çengel Y. A., Boles M. A., 2006)

Berikut ini adalah tahapan-tahapan dari proses siklus refrigerasi yang ditunjukkan pada gambar dan gambar 1 ialah :

1) Proses Evaporasi isothermal (1 – 2)

Refrigeran berevaporasi secara penuh dalam evaporator dan menghasilkan efek refrigerasi  $q_{ref}$  dalam Btu/lb :

$$\frac{Q_{in}}{m} = h_1 - h_2$$

dimana  $h_1$  dan  $h_4$  = entalpi *refrigerant* pada titik 1 dan titik 4 dalam Btu/lb.

2) Proses kompresi isentropis (2 – 3)

Uap refrigerandiambil oleh kompresor dan dikompresi secara *isentropis* dari titik 2 ke 3. Kerja input pada kompresor  $W_{in}$ , dalam Btu/lb, adalah :

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

Dimana  $h_1$  dan  $h_2$  = enthalpi *refrigerant* pada titik 2 dan titik 3 dalam Btu/lb semakin besar perbedaan pada temperatur/tekanan antara tekanan pengembunan  $p_{cond}$  dan tekanan

penguapan  $p_{ev}$ , akan semakin tinggi kerja input pada kompresor.

3) Proses kondensasi isothermal (3 – 4)

Gas panas refrigeranyang dikeluarkan dari kompresor dikondensasi dalam kondensor menjadi bentuk cair, dan kalor laten kondensasi dibuang ke air atau udara lingkungan dalam kondensor. Kalor yang dibuang selama kondensasi,  $q_{3-4}$ , dalam Btu/lb, adalah

$$\frac{Q_{out}}{m} = h_3 - h_2$$

Dimana  $h_3$  = entalpi refrigerant pada titik 4 dalam Btu/lb.

4) Proses penghambatan (4–1)

Refrigeran cair mengalir melalui alat penghambat (contohnya : sebuah katup ekspansi, pipa kapiler, atau orifis) dan tekanannya dikurangi menjadi tekanan evaporasi. Sebagian cairan berubah menjadi uap dan memasuki evaporator. proses ini adalah proses *ireversibel* dalam siklus ideal, biasanya digambarkan dengan garis putus-putus. Untuk proses penghambat, diasumsikan bahwa kalor yang diperoleh dari sekitarnya diabaikan :

$$h_3 = h_4$$

Siklus refrigerasi kompresi uap satu tingkat ideal dalam diagram p-h dibagi kedalam dua daerah tekanan, yaitu tekanan tinggi ( $p_{cond}$ ) dan tekanan rendah ( $p_{ev}$ ). (Moran, M.J., 2008).

### 2.4 Beban Pendinginan

Beban pendingin adalah perhitungan kalor baik yang berada didalam ruangan maupun diluar ruangan. Sehingga dapat menentukan kapasitas alat yang sesuai dengan efisiensinya. Beban pendinginan sebenarnya adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap hari. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Tambahan panas adalah jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun

melalui dinding. Berikut ini sumber kalor dan cara perhitungan beban pendingin.

**2.4.1. Beban Kalor Transmisi**

Beban kalor transmisi adalah beban kalor yang merambat melalui dinding. Menurut buku Ashrae, (2006), dapat dicari dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

- Q<sub>h</sub> = laju aliran kalor transmisi (W)
- U = koefisien perpindahan kalor (W/m<sup>2</sup>.K)
- A = luas permukaan benda (m<sup>2</sup>)
- Δt = perbedaan temperatur (°K)

Untuk mencari koefisien perpindahan kalor :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_0}}$$

Keterangan :

- k = konduktivitas thermal material (W/m.K)
- h<sub>1</sub>= koefisien konveksi permukaan dalam (W/m<sup>2</sup>.K)
- h<sub>0</sub>= koefisien konveksi permukaan luar (W/m<sup>2</sup>.K)
- x = ketebalan bahan
- U = koefisien perpindahan kalor (W/m<sup>2</sup>.K)

Catatan :

Jika Aliran Udara Konstant maka nilai h<sub>1</sub> adalah 1.6 dan Jika kecepatan aliran udara sebesar 25 km/h maka nilai h<sub>0</sub> adalah 6.

**2.4.2. Beban kalor dari produk**

Sumber utama beban pendingin dari produk dalam ruangan yang didinginkan adalah:

- 1) Kalor yang dilepaskan untuk mengurangi temperatur produk akibat produk tersebut disimpan dalam temperatur penyimpanan.
- 2) Kalor yang dibangkitkan oleh produk dalam penyimpanan. Hal ini terjadi karena peleburan kalor laten dari produk. Produk yang dimasukkan dalam *Coolrooms*. Jika produk

mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur *Coolrooms* maka akan melepaskan kalor sampai temperatur sama dengan temperatur *Coolrooms*.

**Tabel 1. Thermal Conductivity Of Cold Storage Insulation**(ASHRAE, 2006

| Insulation                                   | Thermal Conductivity<br>k, W/(m·K) |
|--|------------------------------------|
| Polyurethane board (R-11 expanded)           | 0.023 to 0.026                     |
| Polyisocyanurate, cellular (R-141b expanded) | 0.027                              |
| Polystyrene, extruded (R-142b)               | 0.035                              |
| Polystyrene, expanded (R-142b)               | 0.037                              |
| Corkboard <sup>b</sup>                       | 0.043                              |
| Foam glass <sup>c</sup>                      | 0.044                              |

Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung banyaknya kalor yaitu (Ashrae, 2006,hal. 13.3) :

- 1) Panas yang dibuang dari temperatur awal ke temperatur dingin (diatas titik beku produk) sebagai berikut: Q<sub>1</sub> = m.c<sub>1</sub> (t<sub>1</sub>- t<sub>2</sub>)
- 2) Panas yang dibuang dari temperatur dingin produk ke titik beku produk (Q<sub>sensible</sub>) sebagai berikut : Q<sub>2</sub> = m.c<sub>1</sub> (t<sub>1</sub>- t<sub>f</sub>)
- 3) Panas yang dibuang untuk membekukan produk (Q<sub>latent</sub>) adalah :Q<sub>3</sub> = m.h<sub>if</sub>
- 4) Panas yang dibuang dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan sebagai berikut : Q<sub>4</sub> = m.c<sub>2</sub> (t<sub>f</sub>- t<sub>3</sub>)

Keterangan :

- Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub> = panas yang dibuang (kJ)
- m = massa produk (kg)
- c<sub>1</sub>= specific heat of product above freezing (kJ/ kg.K)
- c<sub>2</sub>= specific heat of product below freezing (kJ/ kg.K)
- t<sub>1</sub>= initial temperature of product above freezing (°C)
- t<sub>2</sub>= lower temperature of product above freezing (°C)
- t<sub>3</sub>= final temperature of product below freezing (°C)
- t<sub>f</sub>= freezing temperature of product (°C)
- h<sub>if</sub>= latent heat of fusion of product kJ/kg

Data-data yang diperlukan dalam perancangan dapat menggunakan acuan buku ASHRAE yang diterbitkan. Secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

### 2.4.3. Beban Kalor Infiltrasi

Beban kalor yang dimaksud adalah jumlah kalor yang masuk ke dalam ruangan penyimpanan saat pintu jendela dibuka. (ASHRAE, 2006. Hal. 13.6)

$$qt = q \times Dt \times Df \times (1-E)$$

Dimana,

qt = Beban refrigerasi (KW)

q = Beban sensible dan latent refrigerasi (KW)

Dt = doorway open-time factor

Df = doorway flow factor(1,1)

E = effectiveness of doorway protective device(0,95)

$$D_t = \frac{(P \cdot \theta_p + 60 \cdot \theta_o)}{3600 \cdot \theta_d}$$

**Tabel 2. Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point And Specific Heat Of Food\* (Continued) (ASHRAE, 2006)**

| Food Item                    | Moisture Content, Protein, |            |                 | Carbohydrate      |                      |                 | Initial Freezing Point, °C | Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K) | Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K) | Latent Heat of Fusion, kJ/kg |
|------------------------------|----------------------------|------------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|---|---|------------------------------|
|                              | %<br>$x_{wo}$              | %<br>$x_p$ | Fat, %<br>$x_f$ | Total, %<br>$x_c$ | Fiber, %<br>$x_{fb}$ | Ash, %<br>$x_a$ |                            |   |   |                              |
| <b>Cream</b>                 |                            |            |                 |                   |                      |                 |                            |   |   |                              |
| Half and half                | 80.57                      | 2.96       | 11.50           | 4.30              | 0.0                  | 0.67            | —                          | 3.73                                    | 2.16                                    | 269                          |
| Table                        | 73.75                      | 2.70       | 19.31           | 3.66              | 0.0                  | 0.58            | -2.2                       | 3.59                                    | 2.21                                    | 246                          |
| Heavy whipping               | 57.71                      | 2.05       | 37.00           | 2.79              | 0.0                  | 0.45            | —                          | 3.25                                    | 2.32                                    | 193                          |
| <b>Ice Cream</b>             |                            |            |                 |                   |                      |                 |                            |   |   |                              |
| Chocolate                    | 55.70                      | 3.80       | 11.0            | 28.20             | 1.20                 | 1.00            | -5.6                       | 3.11                                    | 2.75                                    | 186                          |
| Strawberry                   | 60.00                      | 3.20       | 8.40            | 27.60             | 0.30                 | 0.70            | -5.6                       | 3.19                                    | 2.74                                    | 200                          |
| Vanilla                      | 61.00                      | 3.50       | 11.00           | 23.60             | 0.0                  | 0.90            | -5.6                       | 3.22                                    | 2.74                                    | 204                          |
| <b>Milk</b>                  |                            |            |                 |                   |                      |                 |                            |   |   |                              |
| Canned, condensed, sweetened | 27.16                      | 7.91       | 8.70            | 54.40             | 0.0                  | 1.83            | -15.0                      | 2.35                                    | —                                       | 91                           |
| Evaporated                   | 74.04                      | 6.81       | 7.56            | 10.04             | 0.0                  | 1.55            | -1.4                       | 3.56                                    | 2.08                                    | 247                          |
| Skim                         | 90.80                      | 3.41       | 0.18            | 4.85              | 0.0                  | 0.76            | —                          | 3.95                                    | 1.78                                    | 303                          |
| Skim, dried                  | 3.16                       | 36.16      | 0.77            | 51.98             | 0.0                  | 7.93            | —                          | 1.80                                    | —                                       | 11                           |
| Whole                        | 87.69                      | 3.28       | 3.66            | 4.65              | 0.0                  | 0.72            | -0.6                       | 3.89                                    | 1.81                                    | 293                          |
| dried                        | 2.47                       | 26.32      | 26.71           | 38.42             | 0.0                  | 6.08            | —                          | 1.85                                    | —                                       | 8                            |
| Whey, acid, dried            | 3.51                       | 11.73      | 0.54            | 73.45             | 0.0                  | 10.77           | —                          | 1.68                                    | —                                       | 12                           |
| sweet, dried                 | 3.19                       | 12.93      | 1.07            | 74.46             | 0.0                  | 8.35            | —                          | 1.69                                    | —                                       | 11                           |

Sifat-sifat zat padat dan zat gas ditinjau dari  $c_p$ ,  $\rho$ , dan  $k$  secara sederhana dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Properties Of Selected Solid and Liquid:  $C_p$ ,  $\rho$ , and  $k$  (Moran, M., J, Saphiro, H., N, 2006)**

| Substance                         | Specific Heat, $c_p$ (kJ/kg·K) | Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Thermal Conductivity, $k$ (W/m·K) |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Selected Solids, 300K</b>      |                                |                                      |                                   |
| Aluminium                         | 0.903                          | 2700                                 | 237                               |
| Coal, anthracite                  | 1.260                          | 1350                                 | 0.26                              |
| Copper                            | 0.385                          | 8930                                 | 401                               |
| Granite                           | 0.775                          | 2630                                 | 2.79                              |
| Iron                              | 0.447                          | 7870                                 | 80.2                              |
| Lead                              | 0.129                          | 11300                                | 35.3                              |
| Sand                              | 0.800                          | 1520                                 | 0.27                              |
| Silver                            | 0.235                          | 10500                                | 429                               |
| Soil                              | 1.840                          | 2050                                 | 0.52                              |
| Steel (AISI 302)                  | 0.480                          | 8060                                 | 15.1                              |
| Tin                               | 0.227                          | 7310                                 | 66.6                              |
| <b>Building Materials, 300K</b>   |                                |                                      |                                   |
| Brick, common                     | 0.835                          | 1920                                 | 0.72                              |
| Concrete (stone mix)              | 0.880                          | 2300                                 | 1.4                               |
| Glass, plate                      | 0.750                          | 2500                                 | 1.4                               |
| Hardboard, siding                 | 1.170                          | 640                                  | 0.094                             |
| Limestone                         | 0.810                          | 2320                                 | 2.15                              |
| Plywood                           | 1.220                          | 545                                  | 0.12                              |
| Softwoods (fir, pine)             | 1.380                          | 510                                  | 0.12                              |
| <b>Insulating Materials, 300K</b> |                                |                                      |                                   |
| Blanket (glass fiber)             | —                              | 16                                   | 0.046                             |
| Cork                              | 1.800                          | 120                                  | 0.039                             |
| Duct liner (glass fiber, coat)    | 0.835                          | 32                                   | 0.038                             |
| Polystyrene (extruded)            | 1.210                          | 55                                   | 0.027                             |
| Vermiculite fill (flakes)         | 0.835                          | 80                                   | 0.068                             |
| <b>Saturated Liquids</b>          |                                |                                      |                                   |
| Ammonia, 300K                     | 4.818                          | 599.8                                | 0.465                             |
| Mercury, 300K                     | 0.139                          | 13529                                | 8.540                             |
| Refrigerant 22, 300K              | 1.267                          | 1183.1                               | 0.085                             |
| Refrigerant 134a, 300K            | 1.434                          | 1199.7                               | 0.081                             |
| Unused Engine Oil, 300K           | 1.909                          | 884.1                                | 0.145                             |
| Water, 275K                       | 4.211                          | 999.9                                | 0.574                             |
| 300K                              | 4.179                          | 996.5                                | 0.613                             |
| 325K                              | 4.182                          | 987.1                                | 0.645                             |
| 350K                              | 4.195                          | 973.5                                | 0.668                             |
| 375K                              | 4.220                          | 956.8                                | 0.681                             |
| 400K                              | 4.256                          | 937.4                                | 0.688                             |

Dimana,

P = Jumlah Pintu

$\theta_p$  = Lamanya pintu terbuka-tertutup (detik)

$\theta_o$  = Waktu pintu terbuka (menit)

$\theta_d$  = Lama pintu digunakan dalam sehari (jam)

$$q_t = V \cdot A \cdot (h_i - h_r) \rho_r \cdot D_t$$

Keterangan :

V = Kecepatan udara rata-rata (0,3 m/s)

A = Luas pintu dibuka (m<sup>2</sup>)

$h_i$  = Entalpi udara infiltrasi (Kj/Kg)

$h_r$  = Entalpi refrigerasi (Kj/Kg)

$\rho_r$  = Massa jenis udara refrigerasi (Kg/m<sup>3</sup>)

### 2.4.4. Beban Cetakan

Selain kalor yang dibutuhkan untuk membekukan es, diperlukan juga kalor yang digunakan untuk mendinginkan cetakan es. Untuk menghitung beban pendinginan cetakan es, data-

data yang digunakan sebagai berikut (Bintoro, A, 2008) :

$$m_{\text{cetakan}} = V_{\text{cetakan}} \cdot \rho_{\text{cetakan}}$$

$$Q_{\text{cetakan}} = m_{\text{cetakan}} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{cetakan}}$$

$$Q_{\text{cetakan total}} = n_{\text{es}} \cdot Q_{\text{cetakan}}$$

Keterangan :

$m_{\text{cetakan}}$  : massa cetakan, (kg)

$V_{\text{cetakan}}$  : volume cetakan, ( $\text{m}^3$ )

$\rho_{\text{cetakan}}$  : density cetakan, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$Q_{\text{cetakan}}$  : beban pendingin cetakan, (kJ)

$n_{\text{es}}$  : jumlah cetakan

#### 2.4.5. Safety Factor

*Safety factor* adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum. Beberapa referensi (Dossat, R.J, 1982,) menyarankan untuk menambahkan *safety factor* antara 5% hingga 10% dari total cooling load. Maka untuk mendapatkan nilai *safety factor* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

### 2.5 Prestasi Kompresi Uap

Kinerja dari suatu sistem refrigerasi dapat ditentukan dari besaran-besaran sebagai berikut.

#### 2.5.1. Efek Pendinginan atau Efek Refrigerasi

Proses efek refrigerasi terjadi pada siklus 4-1 seperti pada gambar 2.2 diatas. Berikut ini persamaan yang dapat digunakan untuk mengetahui efek refrigerasi dari suatu sistem. (ASHRAE, 2001)

$$Q_{\text{refrigeration effect}} = h_1 - h_4$$

#### 2.5.2. Laju Aliran Refrigeran

Untuk dapat menghitung laju aliran refrigeran maka dapat dihitung dengan membagi kapasitas pendinginan dengan efek refrigerasi seperti persamaan berikut ini.

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{refrigeration effect}}}$$

#### 2.5.3. Kerja Kompresi dan Daya Kompresor

Untuk menghitung kerja kompresi dan daya kompresor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut. (ASHRAE, 2001)

$$\text{Kerja Kompresi} = h_2 - h_1$$

$$W_k = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

#### 2.5.4. Pembuangan Kalor dan Daya Kondensor

Dari kesetimbangan energy, kalor yang dilepaskan di kondensor haruslah sama dengan jumlah efek refrigerasi dan kalor yang ekuivalen dengan kerja yang diberikan kepada refrigerant selama proses kompresi di kompresor ( $W_k$ ).

$$\text{Pelepasan Kalor} = h_2 - h_3$$

$$W_{\text{kondensor}} = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

#### 2.5.5. COP (Coefficient Of Performance)

COP didefinisikan sebagai untung dari siklus (jumlah kalor yang diserap) dibagi dengan energi input yang diperlukan untuk mengoperasikan siklus berikut persamaannya. (ASHRAE, 2001)

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{refrigeration effect}}}{W_k}$$

### 2.6 Pemilihan Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran merupakan komponen terpenting siklus refrigerasi karena refrigeran yang menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. (ASHRAE 2005) mendefinisikan refrigeran sebagai fluida kerja di dalam mesin refrigerasi, pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor. Refrigeran menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain, biasanya melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi.

Pemilihan jenis refrigeran yang akan digunakan dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa sifat berikut:

- 1) Sifat termodinamika
- 2) Tidak mudah terbakar

- 3) Tingkat racun
- 4) Kelarutan dalam air
- 5) Kelarutan dalam minyak pelumas
- 6) Reaksi terhadap material komponen mesin
- 7) Tingkat ODP (*ozone depleting potential*) dan GWP (*global warming potential*) yang kecil atau rendah.

Klasifikasi keselamatan standar ASHRAE 34 terdiri dari huruf kapital dan angka. Huruf kapital menunjukkan tingkat racun yang diklasifikasikan berdasarkan paparannya yang diijinkan:

- a. Kelas A: Keracunan belum diidentifikasi pada konsentrasi kurang dari atau sama dengan 400 ppm berdasarkan volume, berdasarkan data yang digunakan untuk menentukan nilai ambang batas/rata tertimbang waktu (TLV/TWA) atau indeks konsisten.
- b. Kelas B: Ada bukti toksisitas pada konsentrasi di bawah 400 ppm berdasarkan volume, berdasarkan data yang digunakan untuk menentukan TLV/TWA atau indeks konsisten. Angka menunjukkan tingkat mudah terbakar:
  1. Kelas 1: Tidak ada perambatan api di udara pada 21°C dan 101 kPa
  2. Kelas 2: Batas mudah terbakar (LFL) lebih besar dari 0,10 kg/m<sup>3</sup> pada 21°C dan 101 kPa dan panas dari pembakaran kurang dari 19000 kJ/kg.
  3. Kelas 3: Sangat mudah terbakar seperti yang didefinisikan oleh LFL kurang dari atau sama dengan 0,10 kg/m<sup>3</sup> pada 21°C dan 101 kPa atau panas pembakaran  $\geq 19.000$  kJ/kg.

Klasifikasi tersebut dapat dilihat secara sederhana menggunakan Gambar 2.

|                |                 |                      |
|----------------|-----------------|----------------------|
| LOWER TOXICITY | HIGHER TOXICITY |                      |
| A3             | B3              | HIGHER FLAMMABILITY  |
| A2             | B2              | LOWER FLAMMABILITY   |
| A1             | B1              | NO FLAME PROPAGATION |

INCREASING TOXICITY →

↑ INCREASING FLAMMABILITY

Gambar 2. Refrigerant safety group classifications. (Whitman, B. et al. 2009)

### Refrigeran R-134a

Spesifikasi Refrigeran R-134a dapat dilihat pada Tabel 4. *properties of saturated refrigerant 134a* dan Tabel 5. *properties of superheated refrigerant 134a*.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Diagram alir penelitian

Metodologi Penelitian yang dilakukan menggunakan 3 tahap utama yaitu perencanaan, perakitan, dan pengujian. Metodologi penelitian menggunakan diagram alir Gambar 3.

Tahap pengujian mesin pembuat es krim dapat dirincikan sebagai berikut :

- 1) Persiapan pengujian dengan cara mengkondisikan alat penelitian, dan pemasangan alat ukur untuk mengukur :
  - Temperatur *suction*
  - Temperatur evaporator
  - Temperatur kondensor
  - Temperatur *discharge*
  - Tekanan tinggi dan tekanan rendah
- 2) Pengambilan data dengan mengoperasikan alat sesuai dengan kebutuhan.
- 3) Setelah selesai pengambilan data, lakukan perhitungan masing-masing pengujian, meliputi beban pendingin, efek refrigerasi, kerja kompresi, COP

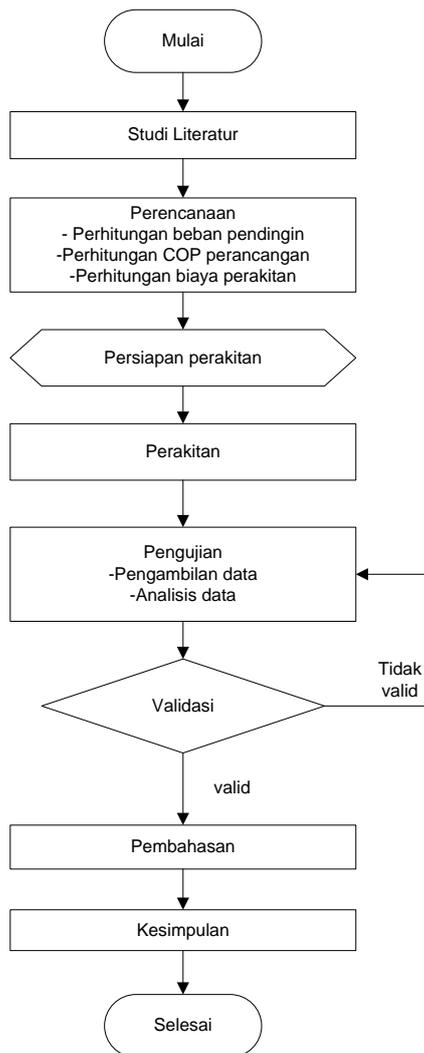
- 4) Setelah perhitungan selesai, periksa kembali apakah langkah dan data dapat dinyatakan valid? Jika “valid” maka dilanjutkan ke proses berikutnya, jika “Tidak valid” maka kembali ke proses persiapan pengujian.
- 5) Setelah perhitungan selesai, kemudian sudah diperiksa kembali dan data sudah sesuai, maka langkah selanjutnya yaitu menganalisa data yang didapat.
- 6) Dari data analisa tersebut, kemudian dibahas dan diambil kesimpulan.

**Tabel 4. Properties Of Saturated Refrigerant 134a (liquid-vapor) (Moran, M., J and Saphiro, H., N. 2006)**

| Temp. °C | Press. bar | Specific Volume m <sup>3</sup> /kg           |                           | Internal Energy kJ/kg      |                           | Enthalpy kJ/kg             |                       |                           | Entropy kJ/kg · K          |                           | Temp. °C |
|----------|------------|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|
|          |            | Sat. Liquid v <sub>f</sub> × 10 <sup>3</sup> | Sat. Vapor v <sub>g</sub> | Sat. Liquid u <sub>f</sub> | Sat. Vapor u <sub>g</sub> | Sat. Liquid h <sub>f</sub> | Evap. h <sub>fg</sub> | Sat. Vapor h <sub>g</sub> | Sat. Liquid s <sub>f</sub> | Sat. Vapor s <sub>g</sub> |          |
| -40      | 0.5164     | 0.7055                                       | 0.3569                    | -0.04                      | 204.45                    | 0.00                       | 222.88                | 222.88                    | 0.0000                     | 0.9560                    | -40      |
| -36      | 0.6332     | 0.7113                                       | 0.2947                    | 4.68                       | 206.73                    | 4.73                       | 220.67                | 225.40                    | 0.0201                     | 0.9506                    | -36      |
| -32      | 0.7704     | 0.7172                                       | 0.2451                    | 9.47                       | 209.01                    | 9.52                       | 218.37                | 227.90                    | 0.0401                     | 0.9456                    | -32      |
| -28      | 0.9305     | 0.7233                                       | 0.2052                    | 14.31                      | 211.29                    | 14.37                      | 216.01                | 230.38                    | 0.0600                     | 0.9411                    | -28      |
| -26      | 1.0199     | 0.7265                                       | 0.1882                    | 16.75                      | 212.43                    | 16.82                      | 214.80                | 231.62                    | 0.0699                     | 0.9390                    | -26      |
| -24      | 1.1160     | 0.7296                                       | 0.1728                    | 19.21                      | 213.57                    | 19.29                      | 213.57                | 232.85                    | 0.0798                     | 0.9370                    | -24      |
| -22      | 1.2192     | 0.7328                                       | 0.1590                    | 21.68                      | 214.70                    | 21.77                      | 212.32                | 234.08                    | 0.0897                     | 0.9351                    | -22      |
| -20      | 1.3299     | 0.7361                                       | 0.1464                    | 24.17                      | 215.84                    | 24.26                      | 211.05                | 235.31                    | 0.0996                     | 0.9332                    | -20      |
| -18      | 1.4483     | 0.7395                                       | 0.1350                    | 26.67                      | 216.97                    | 26.77                      | 209.76                | 236.53                    | 0.1094                     | 0.9315                    | -18      |
| -16      | 1.5748     | 0.7428                                       | 0.1247                    | 29.18                      | 218.10                    | 29.30                      | 208.45                | 237.74                    | 0.1192                     | 0.9298                    | -16      |

**Tabel 5. Properties Of Superheated Refrigerant 134a Vapor (Moran, M., J and Saphiro, H., N. 2006)**

| T °C   | v m <sup>3</sup> /kg | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg · K | v m <sup>3</sup> /kg   | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg · K |  |
|--|----------------------|---------|---------|-------------|--|---------|---------|-------------|--|
| <i>p</i> = 10.0 bar = 1.00 MPa<br>( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 39.39°C) |                      |         |         |             | <i>p</i> = 12.0 bar = 1.20 MPa<br>( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 46.32°C) |         |         |             |  |
| Sat.   | 0.02020              | 247.77  | 267.97  | 0.9043      | 0.01663  | 251.03  | 270.99  | 0.9023      |  |
| 40   | 0.02029              | 248.39  | 268.68  | 0.9066      |  |         |         |             |  |
| 50   | 0.02171              | 258.48  | 280.19  | 0.9428      | 0.01712  | 254.98  | 275.52  | 0.9164      |  |
| 60   | 0.02301              | 268.35  | 291.36  | 0.9768      | 0.01835  | 265.42  | 287.44  | 0.9527      |  |
| 70   | 0.02423              | 278.11  | 302.34  | 1.0093      | 0.01947  | 275.59  | 298.96  | 0.9868      |  |
| 80   | 0.02538              | 287.82  | 313.20  | 1.0405      | 0.02051  | 285.62  | 310.24  | 1.0192      |  |
| 90   | 0.02649              | 297.53  | 324.01  | 1.0707      | 0.02150  | 295.59  | 321.39  | 1.0503      |  |
| 100  | 0.02755              | 307.27  | 334.82  | 1.1000      | 0.02244  | 305.54  | 332.47  | 1.0804      |  |
| 110  | 0.02858              | 317.06  | 345.65  | 1.1286      | 0.02335  | 315.50  | 343.52  | 1.1096      |  |
| <i>p</i> = 14.0 bar = 1.40 MPa<br>( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 52.43°C) |                      |         |         |             | <i>p</i> = 16.0 bar = 1.60 MPa<br>( <i>T</i> <sub>sat</sub> = 57.92°C) |         |         |             |  |
| Sat.   | 0.01405              | 253.74  | 273.40  | 0.9003      | 0.01208  | 256.00  | 275.33  | 0.8982      |  |
| 60   | 0.01495              | 262.17  | 283.10  | 0.9297      | 0.01233  | 258.48  | 278.20  | 0.9069      |  |
| 70   | 0.01603              | 272.87  | 295.31  | 0.9658      | 0.01340  | 269.89  | 291.33  | 0.9457      |  |
| 80   | 0.01701              | 283.29  | 307.10  | 0.9997      | 0.01435  | 280.78  | 303.74  | 0.9813      |  |
| 90   | 0.01792              | 293.55  | 318.63  | 1.0319      | 0.01521  | 291.39  | 315.72  | 1.0148      |  |
| 100  | 0.01878              | 303.73  | 330.02  | 1.0628      | 0.01601  | 301.84  | 327.46  | 1.0467      |  |
| 110  | 0.01960              | 313.88  | 341.32  | 1.0927      | 0.01677  | 312.20  | 339.04  | 1.0773      |  |
| 120  | 0.02039              | 324.05  | 352.59  | 1.1218      | 0.01750  | 322.53  | 350.53  | 1.1069      |  |
| 130  | 0.02115              | 334.25  | 363.86  | 1.1501      | 0.01820  | 332.87  | 361.99  | 1.1357      |  |

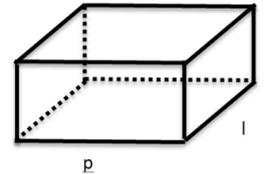


Gambar 4. Diagram alir penelitian

### 3.2 Proses perencanaan

#### 3.2.1. Dimensi dan suhu pada evaporator

Mesin *Ice cream maker* kapasitas 5 liter dibuat dengan cara pembekuan dengan datayang didapat dari tabel 2 dan tabel 3 yaitu *freezing point* sebesar  $-5,6^{\circ}\text{C}$ , *specific heat above freezing point and below freezing point* adalah  $3,22 \text{ Kj/Kg.K}$  dan  $2,74 \text{ Kj/Kg}$ , temperatur yang ingin dicapai  $-10^{\circ}\text{C}$  dan temperatur lingkungan sebesar  $33^{\circ}\text{C}$ . Kapasitas 5 liter sama dengan  $0,005\text{m}^3$ . Jadi ukuran ruangan yang dapat memenuhi volume sebanyak 5 liter adalah dengan dimensi ruangan  $250 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ . Berikut ukuran ruangan pembekuan es krim yang dirancang untuk menampung es krim sebanyak 5 liter.



Gambar 5. Dimensi ukuran ruangan

Ukuran Ruang Pembekuan adalah :

$$\begin{aligned}
 p \text{ (Panjang)} &= 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm} \\
 l \text{ (Lebar)} &= 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm} \\
 t \text{ (Tinggi)} &= 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Sehingga volume ruangan tersebut adalah :

$$\begin{aligned}
 V &= p \times l \times t \\
 V &= 0,25 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \\
 V &= 0,005 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Setiap sisi mesin *ice cream maker* kapasitas 5 liter mempunyai 2 lapisan material yaitu *polyurethane* dan *Plywood* (tripleks). Sedangkan pada bagian pojok atau sudut juga ditutupi oleh sedikit lapisan dari kerangka alat dengan material yang terbuat dari aluminium.

Tabel 6. Dimensi Ruang Pembuat Es Krim

| No. | Bahan               | Tebal (mm) | k(W/m.K) | Ket           |
|-----|---------------------|------------|----------|---------------|
| 1.  | <i>polyurethane</i> | 50         | 0.026    | Lapisan dalam |
| 2.  | <i>Plywood</i>      | 5          | 0,13     | Lapisan luar  |
| 3.  | <i>Aluminium</i>    | 2          | 237      | Lapisan luar  |

#### 3.2.2. Perhitungan Beban Pendingin

Pada perhitungan beban pendingin mesin pembuat es krim terdapat beberapa jenis beban yakni beban transmisi, infiltrasi dan produk.

##### 1) Beban transmisi

Berikut ini perhitungan beban transmisi atau beban kalor yang melewati material lapisan dinding.

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

Dimana :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_0}} \\
 U &= \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,05 \text{ m}}{0,026 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{0,13 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}} + \frac{1}{1,6}} \\
 U &= \frac{1}{0,625 \frac{\text{W}}{\text{m.K}} + 1,923 \frac{\text{W}}{\text{m.K}} + 0,03846 \frac{\text{W}}{\text{m.K}} + 0,625 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}
 \end{aligned}$$

$$U = \frac{1}{3,177 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

$$U = 0,315 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Setelah mendapatkan nilai faktor U maka dapat dihitung besarnya beban kalor yang dilepaskan:

a. Beban kalor sisi atas

$$A = P \times L = 0,25 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,05 \text{ m}^2$$

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

$$Q_a = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,05 \text{ m}^2 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_a = 0,677 \text{ W}$$

b. Beban kalor sisi bawah

$$A = P \times L = 0,25 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,05 \text{ m}^2$$

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

$$Q_b = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,05 \text{ m}^2 \times (309^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_b = 0,677 \text{ W}$$

c. Beban kalor sisidepan

$$A = P \times T = 0,25 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,025 \text{ m}^2$$

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

$$Q_d = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,025 \text{ m}^2 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_d = 0,338 \text{ W}$$

d. Beban kalor sisi belakang

$$A = P \times T = 0,25 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,025 \text{ m}^2$$

$$Q_{be} = U \times A \times \Delta t$$

$$Q_{be} = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,025 \text{ m}^2 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_{be} = 0,338 \text{ W}$$

e. Beban kalor sisidepan kanan

$$A = L \times T = 0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,02 \text{ m}^2$$

$$Q_{ka} = U \times A \times \Delta t$$

$$Q_{ka} = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,02 \text{ m}^2 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_{ka} = 0,27 \text{ W}$$

f. Beban kalor sisidepan kiri

$$A = L \times T = 0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,02 \text{ m}^2$$

$$Q_{ki} = U \times A \times \Delta t$$

$$Q_{ki} = 0,315 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 0,02 \text{ m}^2 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_{ki} = 0,27 \text{ W}$$

Konduktivitas beban kalor yang melewati pada material aluminium dengan ukuran tinggi 10 cm x lebar 2 cm sebanyak 4 batang dan panjang 50 cm x 2 cm sebanyak 8 batang siku aluminium adalah sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,002 \text{ m}}{237 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{1,6}}$$

$$U = \frac{1}{0,625 + 0,00000844 + 0,625}$$

$$U = \frac{1}{1,25} U = 0,8$$

Maka,

$$A_1 = L \times T = 0,02 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = U \times A \times \Delta t$$

$$Q_1 = 0,8 \times 0,002 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_1 = 0,8 \times 0,002 \times (43^\circ K)$$

$$Q_1 = 0,0688 \text{ watt}$$

Sedangkan beban kalor yang melewati aluminium dengan ukuran 0,5 m x 0,02 m = 0,01 m<sup>2</sup> adalah :

$$Q_2 = U \times A \times \Delta t$$

$$Q_2 = 0,8 \times 0,01 \times (306^\circ K - 263^\circ K)$$

$$Q_2 = 0,8 \times 0,01 \times (43^\circ K)$$

$$Q_2 = 0,344 \text{ watt}$$

Jika pada mesin terdapat 4 batang aluminium dengan ukuran 10 cm x 2 cm dan 8 batang aluminium ukuran 50 cm x 2 cm maka nilai bebantotal yang melewati aluminium adalah :

$$Q_{\text{aluminium}} = (4 \times Q_1) + (8 \times Q_2)$$

$$Q_{\text{aluminium}} = (4 \times 0,0688 \text{ watt}) + (8 \times 0,344 \text{ watt})$$

$$Q_{\text{aluminium}} = 3 \text{ watt}$$

Sehingga laju aliran kalor adalah :

$$Q_{\text{transmisi}} = Q_a + Q_b + Q_d + Q_{be} + Q_{ka} + Q_{ki} +$$

$$Q_{\text{aluminium}} = 0,677 \text{ W} + 0,677 \text{ W} + 0,338 \text{ W} + 0,388 \text{ W}$$

$$+ 0,27 \text{ W} + 0,27 \text{ W} + 3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{transmisi}} = 5,57 \text{ W}$$

## 2) Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi merupakan beban yang termasuk akan mempengaruhi proses pendinginan didalam ruangan. Jika diketahui *doorway flow factor* ( $D_f$ ) dan *effectiveness of doorway protective device* ( $E$ ) adalah 1,1 dan 0,95 kemudian  $tdb_i$  dan  $tdb_r$  sebesar 33°C dan -10°C,  $h_i$  dan  $h_r$  sebesar 90,772 KJ/kg dan -6,535 KJ/kg serta  $v_i$  dan  $v_r$  sebesar 0,898 dan 0,747 maka berikut adalah perhitungan kalor beban infiltrasi.

$$\rho_r = 1/v_r$$

$$\rho_r = 1/0,747$$

$$\rho_r = 1,11 \text{ Kg/m}^3$$

$$Q_t = q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1-E)$$

Dimana :

$$D_t = \frac{p \cdot \theta_p \cdot 60 \cdot \theta_0}{3600 \cdot \theta_d}$$

$$D_t = \frac{(1 \times 25 \text{ s}) + (60 \times 7 \text{ min})}{60 \times 7 \text{ hour}}$$

$$D_t = 1$$

Sehingga :

$$q_t = V \cdot A \cdot (h_i - h_r) \rho_r \cdot D_t$$

$$q_t = 0,3 \cdot 0,0025 \text{ m}^2 \cdot (90,772 - (-6,535)) \cdot 1,33 \cdot 1$$

$$q_t = 0,097 \text{ Kw}$$

$$q_t = 97 \text{ watt}$$

## 3) Beban pendingin produk

Berdasarkan data dari ASHRAE diketahui bahwa *freezing point* es krim yakni pada temperature -5,6°C dan *specific heat above and*

below freezing point adalah sebesar 3,22 Kj/Kg dan 2,74 Kj/kg. bila temperatur ruangan yang ingin dicapai  $-10^{\circ}\text{C}$ , nilai untuk kalor *heat latent fusion* atau ( $h_{if}$ ) dapat dilihat pada tabel 2.2 kemudian temperatur produk diatas titik beku  $-2^{\circ}\text{C}$  dan temperatur rendah diatas titik beku  $0^{\circ}\text{C}$  maka beban pendingin produk adalah sebagai berikut :

$$Q_1 = m \cdot c_1 (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = (5 \text{ kg}) \cdot (3,22 \text{ Kj/kg.K}) \cdot (273^{\circ}\text{K} - 271^{\circ}\text{K})$$

$$Q_1 = 32,2 \text{ Kj}$$

Panas yang dibuang dari temperatur dingin produk ke titik beku produk ( $Q_{\text{sensible}}$ ) sebagai berikut :

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

$$Q_2 = (5 \text{ kg}) \cdot (3,22 \text{ Kj/kg.K}) \cdot (271^{\circ}\text{K} - 267,4^{\circ}\text{K})$$

$$Q_2 = 57,96 \text{ Kj}$$

Panas yang dibuang untuk membekukan produk ( $Q_{\text{latent}}$ ) sebagai berikut :

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

$$Q_3 = (5 \text{ kg}) \cdot (204 \text{ Kj/kg})$$

$$Q_3 = 1020 \text{ Kj}$$

Panas yang dibuang dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan ( $Q_{\text{sensible}}$ ) sebagai berikut :

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

$$Q_4 = (5 \text{ kg}) \cdot (2,74 \text{ Kj/kg.K}) \cdot (267,4^{\circ}\text{K} - 263^{\circ}\text{K})$$

$$Q_4 = 60,28 \text{ Kj}$$

Selain kalor yang dibutuhkan untuk membekukan es, diperlukan juga kalor yang digunakan untuk mendinginkan cetakan es. Ukuran cetakan yang dirancang dengan panjang x lebar x tinggi sebesar 20 cm x 15 cm x 10 cm dan nilai kalor spesifik cetakan dapat dilihat pada tabel 6 dengan material aluminium.

$$m_{\text{cetakan}} = V_{\text{cetakan}} \cdot \rho_{\text{cetakan}}$$

dimana :

$$V_{\text{cetakan}} = p \times l \times t$$

$$V_{\text{cetakan}} = 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{cetakan}} = 1500 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{cetakan}} = 0,0015 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$m_{\text{cetakan}} = V_{\text{cetakan}} \cdot \rho_{\text{cetakan}}$$

$$m_{\text{cetakan}} = 0,0015 \text{ m}^3 \cdot 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{cetakan}} = 4 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{cetakan}} = m_{\text{cetakan}} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{cetakan}}$$

$$Q_{\text{cetakan}} = 4 \text{ kg} \cdot 0,903 \text{ Kj/kg.K} \cdot (306^{\circ}\text{K} - 263^{\circ}\text{K})$$

$$Q_{\text{cetakan}} = 154,8 \text{ Kj}$$

Jadi besarnya kalor 5 kg es krim adalah sebesar :

$$Q_{\text{total 5 kg es krim}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{\text{cetakan}}$$

$$Q_{\text{total 5 kg es krim}} = 32,2 \text{ Kj} + 57,96 \text{ Kj} + 1020 \text{ Kj} + 60,28 \text{ Kj} + 154,8 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{total 5 kg es krim}} = 1325,24 \text{ Kj}$$

Sehingga,

$$Q_{\text{total produk}} = 1325,24 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{total produk}} = \frac{1325,24 \text{ Kj}}{1 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{total produk}} = 0,368 \text{ Kw}$$

$$Q_{\text{total produk}} = 368 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan semua beban diatas yang dimulai dari beban transmisi, infiltrasi dan beban produk didapat data sebagai berikut.

**Tabel 7. Hasil perhitungan Beban Perencanaan**

| Beban Kalor (Q) | Nilai | Satuan |
|-----------------|-------|--------|
| Transmisi       | 5,57  | Watt   |
| Infiltrasi      | 97    | Watt   |
| Produk          | 368   | Watt   |

Dari tabel 7 dapat dihitung nilai dari *safety factor* .

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

$$\text{Safety factor} = 5,57 \text{ W} + 97 \text{ W} + 368 \text{ W} \times 10\%$$

$$\text{Safety factor} = 47,057 \text{ W}$$

Dari nilai *safety factor* diatas dapat diketahui

besarnya total beban kalor pendingin sebesar :

$$\text{Total cooling load } (Q_{\text{total}}) =$$

$$Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{produk}} + \text{Safety factor}$$

$$= 5,57 \text{ W} + 97 \text{ W} + 368 \text{ W} + 47,057 \text{ W}$$

$$= 517,6 \text{ Watt}$$

### 3.2.3. Prestasi Kompresi Uap

Pada perencanaan mesin *iec cream maker* kapasitas 5 liter menggunakan refrigerant 134a dimana temperatur evaporasi yang direncanakan dan temperatur kondensasinya sebesar  $-16^{\circ}\text{C}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$ . untuk dapat mengetahui prestasi kompresi uap diperlukan daya kompresor, kapasitas pendinginan dan juga kapasitas kondensor. Dari tabel 2.4 dan 2.5 didapat data-data seperti temperatur evaporasi sebesar  $-16^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan sebesar 1,578 bar, entalpi *vapor* 389,02 Kj/Kg dan entropi *vapor* 1,7379 Kj/Kg.K. Untuk mendapatkan temperatur kondensasi sebesar  $50^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan 13,18 bar. Karena tekanan 13,8 bar pada tabel 5 terdapat pada antara tekanan 12 bar dan 14 bar, maka untuk nilai entalpi pada 13,179 dilakukanlah proses interpolasi data.

Interpolasi data pada tekanan 12 bar dengan menyesuaikan dengan entropi pada suhu  $-16^{\circ}\text{C}$  yang mana entropi sebesar 1,7379 berada diantara pada saturasi 50 dan 60, maka nilai entalpi pada 12 bar dapat dihitung :

$$\frac{437,83-426,51}{x-426,51} = \frac{1,7571-1,7226}{1,7379-1,7226}$$

$$\frac{11,32}{x-426,51} = \frac{0,0345}{0,0153}$$

$$x = 431,54 \text{ Kj/Kg}$$

Interpolasi data pada tekanan 14 bar dengan menyesuaikan dengan entropi pada suhu  $-16^{\circ}\text{C}$  yang mana entropi sebesar 1,7379 berada diantara pada saturasi 60 dan 70 maka nilai entalpi pada 14 bar dapat dihitung :

$$\frac{445,31-433,69}{z-443,69} = \frac{1,7691-1,7374}{1,7379-1,7374}$$

$$\frac{11,62}{z-443,69} = \frac{0,0344}{0,0032}$$

$$z = 434,77 \text{ Kj/Kg}$$

jadi, tekanan pada 13,18 bar memiliki entalpi :

$$\frac{14-12}{2} = \frac{434,77-431,54}{y-431,54}$$

$$1,18 = \frac{3,23}{y-431,54}$$

$$y = 433,45 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{2s} = 433,45 \text{ Kj/Kg}$$

maka, untuk mendapatkan  $h_2$  atau nilai dari proses kompresi yang dilakukan oleh kompresor yang memiliki efisiensi antara 62% sampai 82% menurut buku Ashrae2004 adalah :

$$\eta_{\text{komp}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$0,62 = \frac{433,45 - 389,02}{h_2 - 389,02}$$

$$h_2 = 460,68 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah dilakukan perhitungan diatas dengan menggunakan tabel 2.4 dan 2.5 maka dapat diketahui bahwa nilai  $h_1$  sebesar 389,02 Kj/Kg pada temperatur  $-16^{\circ}\text{C}$ ,  $h_2$  sebesar 460,68 Kj/Kg pada temperatur  $60,3^{\circ}\text{C}$  (hasil interpolasi data) dan  $h_3$  yakni sebesar 271,62 Kj/Kg pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $h_4$  sebesar 271,62.

Efek refrigerasi yang terjadi pada siklus kompresi uap dengan refrigeran R-134a adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{refrigeration effect}} = h_1 - h_4$$

$$Q_{\text{refrigeration effect}} = 389,02 - 271,62$$

$$Q_{\text{refrigeration effect}} = 117,4 \text{ Kj/Kg}$$

Pada perencanaan  $Q_{\text{in}}$  yang didapatkan adalah sebesar 468 watt, maka laju aliran refrigeran :

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{refrigeration effect}}}$$

$$\dot{m} = \frac{0,5176}{117,4}$$

$$\dot{m} = 0,0044 \text{ Kg/s}$$

Kalor yang dilepas oleh kondensor dapat dihitung dengan persamaan  $h_2 - h_3$ , maka kalor yang dibuang adalah sebanyak :

$$\text{Pelepasan Kalor} = 460,68 \text{ Kj/Kg} - 271,62 \text{ Kj/Kg}$$

$$\text{Pelepasan Kalor} = 189,06 \text{ Kj/Kg}$$

Daya kondensor yang diperlukan dalam siklus mesin *ice cream maker* kapasitas 5 liter adalah.

$$W_{\text{kondensor}} = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

$$W_{\text{kondensor}} = 0,0044 (189,06)$$

$$W_{\text{kondensor}} = 0,83164 \text{ Kw}$$

$$W_{\text{kondensor}} = 831,64 \text{ watt}$$

Kerja kompresi yang dilakukan adalah

$$\text{Kerja Kompresi} = h_2 - h_1$$

$$\text{Kerja Kompresi} = 460,68 - 389,02$$

$$\text{Kerja Kompresi} = 71,66 \text{ Kj/Kg}$$

$$W_k = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$W_k = 0,0044 (71,66 \text{ Kj/Kg})$$

$$W_k = 0,3153 \text{ Kw}$$

$$W_k = 315,3 \text{ watt}$$

COP dari siklus refrigerasi adalah.

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{refrigeration effect}}}{\text{Kerja Kompresi}}$$

$$\text{COP} = \frac{117,4 \text{ watt}}{71,66 \text{ watt}}$$

$$\text{COP} = 1,638 \approx 2$$

### 3.2.4 . Penentuan Komponen

Daya kompresor yang dibutuhkan mesin *ice cream maker* dapat dihitung dari total beban pendinginan dibagi dengan COP.

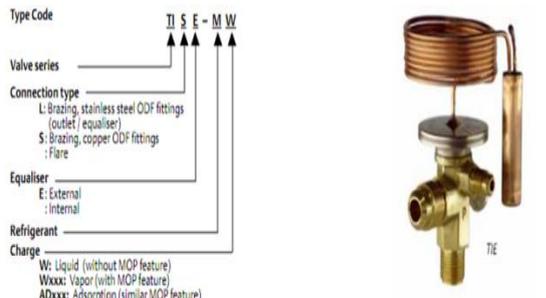
$$W_k = \frac{Q_{\text{in}}}{\text{COP}}$$

$$W_k = \frac{517,6 \text{ watt}}{1,638}$$

$$W_k = 315,995 \text{ watt}$$

Dari hasil perhitungan diatas alat ini dapat menggunakan kompresor hermetic dengan daya 1/2 Pk, dimana 1 Pk = 746 Watt sehingga kompresor dengan daya 1/2 Pk = 373 Watt mampu untuk mencukupi kebutuhan sebesar 315,995 watt dan kompresor menggunakan jenis refrigeran R134a. Jenis evaporator yang akan digunakan yakni evaporator dengan tipe *plate surface* karena pada umumnya sudah banyak digunakan untuk kapasitas pendinginan yang kecil dan dapat diposisikan pada ruangan yang kecil. Karena volume es krim yang akan dibuat dengan ukuran panjang x lebar x tinggi sebesar 25 cm, 20 cm dan 10 cm, maka perencanaan akan memanfaatkan

evaporator jenis *plate surfaced* dengan ukuran panjang x lebar x tinggi sebesar 40 cm, 30 cm, 15 cm, sehingga memenuhi kebutuhan yang diperlukan. Dalam menentukan TXV yang akan digunakan, perencana mendapatkan dari katalog emerson dengan tipe TXV-TIO-000 kapasitas 0,8 Kw



Type Code: TI S E - M W

Valve series: TI S E - M W

Connection type: L: Brazing, stainless steel ODF fittings (outlet / equaliser); S: Brazing, copper ODF fittings; Flare

Equaliser: E: External; Internal

Refrigerant

Charge: W: Liquid (without MCP feature); WX: Vapor (with MCP feature); AD: Adsorption (similar MCP feature)

Orifice Assembly with strainer for inlet connection

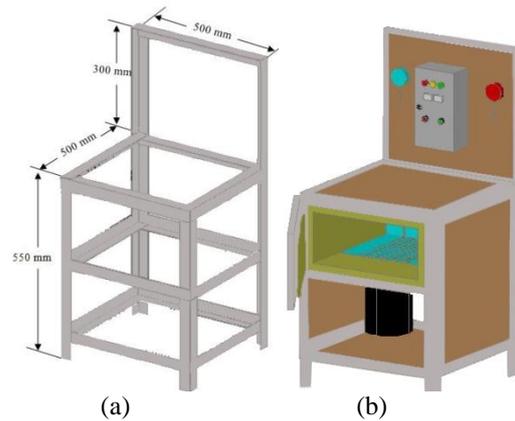
| Type     | Nominal Capacity* (kW) |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|          | TIO-00X                | TIO-000 | TIO-001 | TIO-002 | TIO-003 | TIO-004 | TIO-005 | TIO-006 |
| Part No. | 800 532                | 800 533 | 800 534 | 800 535 | 800 536 | 800 537 | 800 538 | 800 539 |
| R134a    | 0.3                    | 0.8     | 1.9     | 3.1     | 5.0     | 8.3     | 10.1    | 11.7    |
| R22      | 0.5                    | 1.3     | 3.2     | 5.3     | 8.5     | 13.9    | 16.9    | 19.5    |
| R404A    | 0.4                    | 1.0     | 2.3     | 3.9     | 6.2     | 10.1    | 12.3    | 14.2    |
| R407C    | 0.5                    | 1.4     | 3.5     | 5.7     | 9.2     | 15.0    | 18.3    | 21.1    |
| R410A    | 0.6                    | 1.5     | 3.7     | 6.2     | 9.9     | 16.2    | 19.7    | 22.8    |
| R507     | 0.4                    | 1.0     | 2.3     | 3.9     | 6.2     | 10.1    | 12.3    | 14.2    |
| R407F    | 0.6                    | 1.5     | 3.6     | 5.9     | 9.5     | 15.5    | 18.9    | 21.8    |

Gambar 6. katalog TXV-TI emerson

Kondensator yang digunakan alat miniaturbar *Ice cream manualmaker* ini adalah jenis kondensator berpendingin udara (*air-cooled*), dengan mengikuti spesifikasi pabrikan yakni dengan jumlah jala sebanyak 12 buah lekukan atau 12 bentuk U pipa kondensator. Refrigeran yang dipilih pada mesin miniatur *ice bar manual maker* menggunakan *refrigerant* jenis R-134a dengan alasan memiliki tingkat ODP (*Ozone Depleting Potential*) sebesar 0, tidak beracun, tidak mudah terbakar, tidak berbau dan tidak berwarna, dan mudah didapat

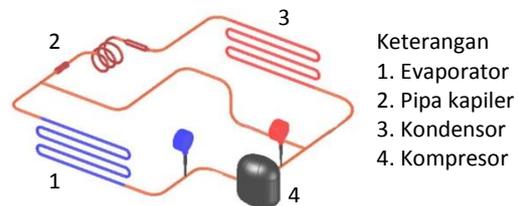
### 3.2.6. Desain Mesin

Berikut ini adalah desain mesin miniatur *bar ice cream manual maker* yang direncanakan dengan menggunakan aplikasi Autocad 2009. Mesin dirancang kecil dengan alasan membuat pendinginan kapasitas kecil dan bertujuan untuk dipergunakan pada perumahan.



Gambar 7. Desain rancangan mesin. (a) kerangka, (b) mesin pembuat es krim manual

Berikut diagram perencanaan pemipaan refrigerasi mesin *ice cream maker*.



Gambar 8. Diagram pemipaan

### 3.2.7. Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan untuk perakitan mesin bar *ice cream* yaitu perhitungan daya listrik dan gambaran *wiring* diagram. Perhitungan daya listrik yang dibutuhkan oleh mesin :

$$P = V \times I$$

Arus kompresor yang dibutuhkan jika kompresor 1HP= 746 watt maka kompresor yang digunakan pada sistem sebesar 1/2Pk:

$$P_{komp} = \frac{746 \text{ watt}}{2} = 373 \text{ watt}$$

$$\text{Dengan Voltase : } 220 \text{ volt}$$

$$I_{komp} = \frac{P}{V} = \frac{373 \text{ watt}}{220 \text{ volt}} = 1,695 \text{ ampere}$$

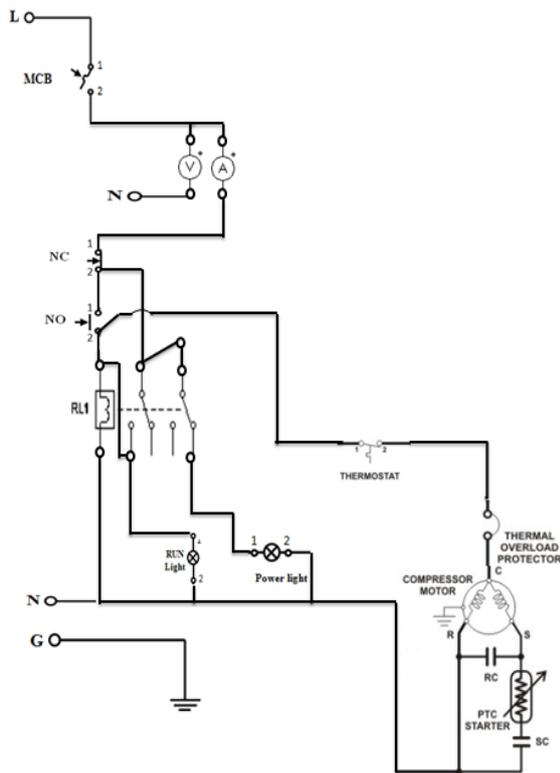
Jadi, daya kompresor yang diperlukan adalah sebesar 373 watt dengan arus sebesar 1,695 ampere. Sedangkan *wiring* diagram kelistrikan yang direncanakan dengan Gambar 9.

### 3.2.7. Perkiraan biaya perakitan

Dalam perakitan mesin pembuat es krim imembutuhkan biaya yang diperkirakan Rp1.898.000,- dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 8. Rincian perkiraan biaya perakitan

| No.                    | RincianBiaya        | Total Biaya (Rp) |
|------------------------|---------------------|------------------|
| 1.                     | Komponenrefrigerasi | 1.350.000        |
| 2.                     | Pembelianbahan      | 273.000          |
| 3.                     | Proses pembuatan    | 275.000          |
| Total BiayaKeseluruhan |                     | 1.898.000        |



Gambar 9. wiring diagram sistem kelistrikan

Keterangan gambar 9:

- L : Line (power)
- N : Neutral (power)
- G : Ground
- MCB : Main Circuit Breaker
- NO : Normally Open
- NC : Normally Close
- RL: Relay
- V : voltmeter
- A : Ampere meter
- C : Comon/central
- R : Running
- S : Starting

### 3.3 Proses perakitan

Prosedur perakitan mesin pembuat es krim dapat diambil garis besar langkah sebagai berikut :

- 1) Persiapan meliputi pembelian komponen atau pemanfaatan komponen bekas
- 2) Perakitan kerangka mesin pembuat es krim
- 3) Perakitan body dan komponen refrigerasi

- 4) Perakitan sistem pemipaan
- 5) Perakitan sistem kelistrikan
- 6) Pengecatan

### 3.4. Proses pengujian

Pengambilan data I pada pada pukul 05.00-07.00 WIB (Tabel 9)

Tabel 9. Data hasil pengukuran dengan bahan ¼ liter es krim

| Var       | Menit ke |       |      |       |       |      |
|-----------|----------|-------|------|-------|-------|------|
|           | 10       | 20    | 30   | 40    | 50    | 60   |
| V (Volt)  | 220      | 220   | 220  | 220   | 220   | 220  |
| I (Amp)   | 0.8      | 0.8   | 0.8  | 0.8   | 0.8   | 0.8  |
| PG1 (bar) | 2.7      | 2.4   | 1.9  | 1.7   | 1.36  | 0.9  |
| PG2 (bar) | 15.8     | 15.8  | 15.8 | 15.8  | 15.8  | 15.8 |
| T1(°C)    | 16.3     | 10.6  | 8    | 6     | 4.7   | -0.7 |
| T2(°C)    | 78       | 77    | 77   | 75.4  | 76    | 75.4 |
| T3(°C)    | 51       | 58.1  | 58   | 58.1  | 58    | 57.7 |
| T4(°C)    | 7.1      | 4.6   | 2.1  | 0     | -1.3  | -6   |
| var       | Menit ke |       |      |       |       |      |
|           | 70       | 80    | 90   | 100   | 110   | 120  |
| V (Volt)  | 220      | 220   | 220  | 220   | 220   | 220  |
| I (Amp)   | 0.8      | 0.8   | 0.8  | 0.8   | 0.8   | 0.8  |
| PG1 (bar) | 0.9      | 0.9   | 0.86 | 0.85  | 0.9   | 0.9  |
| PG2 (bar) | 15.8     | 15.8  | 15.8 | 15.8  | 15.8  | 15.8 |
| T1(°C)    | -5.2     | -4.4  | -5   | -5.4  | -5.4  | -5   |
| T2(°C)    | 74.4     | 73.4  | 72.8 | 73.4  | 72.3  | 72.3 |
| T3(°C)    | 58.5     | 58.3  | 58.4 | 58.3  | 58    | 58.2 |
| T4(°C)    | -11      | -10.4 | -11  | -11.2 | -11.4 | -11  |

Keterangan Tabel 9 :

- A : Arus listrik yang mengalir dalam sistem
- V : Tegangan
- PG1: Tekanan rendah pada Manifold gauge
- PG2: Tekanan tinggi pada Manifold gauge
- T1 : Temperatur keluaran evaporator
- T2 : Temperatur keluaran kompresor
- T3 : Temperatur keluar kondensor
- T4 : Temperatur keluar pipa kapiler/masuk evaporator

Dari data hasil pengukuran dilakukan pengeplotan pada diagram PH dengan Refrigeran 134a untuk mendapat nilai entalphi (h1,h2,h3,h4). Kemudian dilakukan perhitungan efek refrigerasi (qe), kerja kompresi (W), dan COP yang ditunjukkan pada tabel 10.

**Tabel. 10. Hasil input data tabel 9 pada diagram PH R134a dan hasil perhitungan  $q_e$ ,  $W$ , dan COP**

| No         | Enthalpi | Menit ke |        |        |        |        |        | Satuan |
|------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            |          | 10       | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     |        |
| 1          | h1       | 410.05   | 405.73 | 404.41 | 402.75 | 403.41 | 399.76 | Kj/Kg  |
| 2          | h2       | 450.19   | 446.54 | 447.20 | 446.54 | 445.21 | 443.89 | Kj/Kg  |
| 3          | h3       | 273.03   | 284.31 | 284.31 | 284.31 | 283.65 | 284.31 | Kj/Kg  |
| 4          | h4       | 273.03   | 284.31 | 284.31 | 284.31 | 283.65 | 284.31 | Kj/Kg  |
| qe = h1-h4 |          | 126.07   | 121.42 | 120.1  | 118.44 | 119.76 | 115.45 | Kj/Kg  |
| W = h2-h1  |          | 38.48    | 40.81  | 42.79  | 43.79  | 41.8   | 44.13  | Kj/Kg  |
| COP = qe/W |          | 3.27     | 2.97   | 2.80   | 2.70   | 2.86   | 2.61   |        |

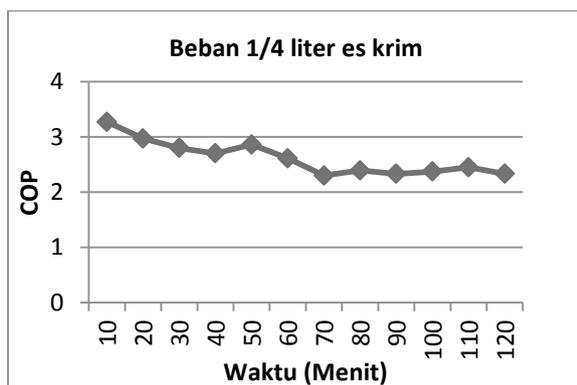
  

| No         | Enthalpi | Menit ke |        |        |        |        |        | Satuan |
|------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            |          | 70       | 80     | 90     | 100    | 110    | 120    |        |
| 1          | h1       | 395.78   | 396.45 | 396.11 | 395.78 | 395.78 | 396.11 | Kj/Kg  |
| 2          | h2       | 443,89   | 443,22 | 443,89 | 442,56 | 442,56 | 443,89 | Kj/Kg  |
| 3          | h3       | 284,98   | 284,64 | 284,64 | 284,64 | 281,00 | 284,64 | Kj/Kg  |
| 4          | h4       | 284,98   | 284,64 | 284,64 | 284,64 | 281,00 | 284,64 | Kj/Kg  |
| qe = h1-h4 |          | 110.8    | 111.81 | 111.47 | 111.14 | 114.78 | 111.47 | Kj/Kg  |
| W = h2-h1  |          | 48.11    | 46.77  | 47.78  | 46.78  | 46.78  | 47.78  | Kj/Kg  |
| COP = qe/W |          | 2.30     | 2.39   | 2.33   | 2.37   | 2.45   | 2.33   |        |

Keterangan Tabel 10:

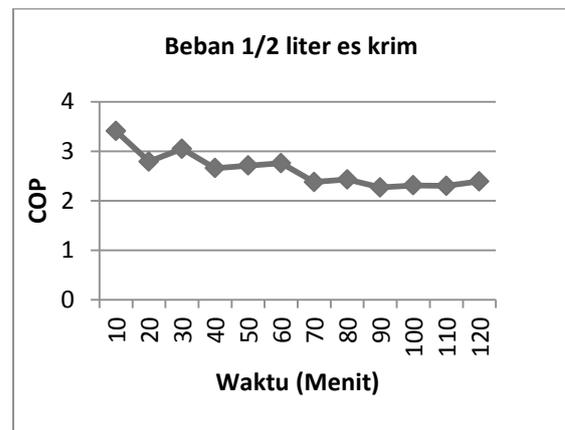
- h1 : Enthalpi keluar evaporator
- h2 : Enthalpi keluar kompresor
- h3 : Enthalpi keluar kondensor
- h4 : Enthalpi keluar pipa kapiler/ masuk evaporator
- qe : Efek refrigerasi
- W : Kerja kompresor
- COP : *Coefisient of performance*

Dari tabel 10 dapat dibuat hubungan antara COP dan waktu untuk beban ¼ liter es krim (gambar 10)

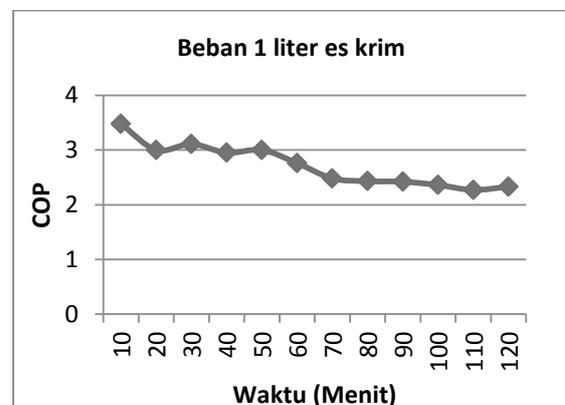


Gambar 10. Hubungan antara COP dan waktu pada beban ¼ Liter Es krim

Dengan langkah yang sama dilakukan pengambilan data dan perhitungan COP pada ½ liter es krim, 1 liter es krim. Sehingga didapat Gambar 11 dan Gambar 12 dengan hasil perhitungan pada tabel 11.



Gambar 11. Hubungan antara cop terhadap waktu pada beban ½ liter es krim

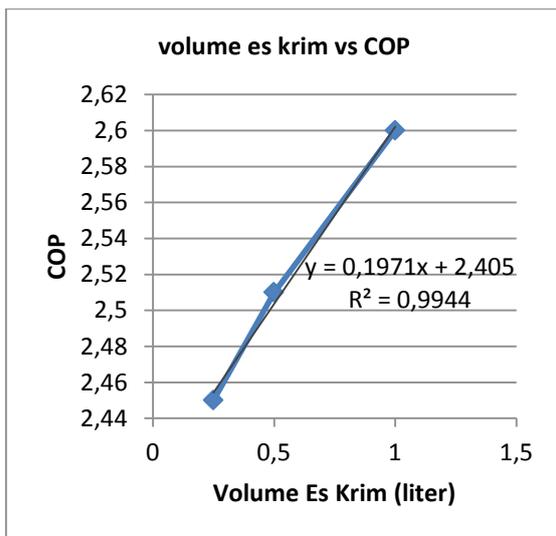


Gambar 12. Hubungan Antara COP Terhadap Waktu Pada Beban 1 Liter Air Mineral

**Tabel 11. Nilai COP pada beban produk es krim ¼ liter, ½ liter, dan 1 liter**

| Volume es krim | Menit ke |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | 10       | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
| 1/4 liter      | 3.27     | 2.97 | 2.80 | 2.70 | 2.86 | 2.61 | 2.30 | 2.39 | 2.33 | 2.37 | 2.45 | 2.33 |
| 1/2 liter      | 3.41     | 2.79 | 3.05 | 2.66 | 2.71 | 2.76 | 2.38 | 2.43 | 2.27 | 2.31 | 2.3  | 2.39 |
| 1 liter        | 3.48     | 3.0  | 3.11 | 2.95 | 3.0  | 2.76 | 2.48 | 2.43 | 2.42 | 2.36 | 2.27 | 2.33 |

Dari 3 diagram diatas didapat rata-rata COP untuk setiap variasi beban pendingin. Untuk rata-rata COP dengan beban ¼ liter bahan es krim yaitu 2.45, beban ½ liter bahan es krim yaitu 2.51, beban 1 liter bahan es krim yaitu 2.6. Hubungan antara COP dan beban dapat dibuat grafik hubungan antara COP dengan beban. Kemudian dapat diambil prediksi COP pada beban 5 liter dengan melakukan interpolasi linier (Gambar 13).



Gambar 13. Hubungan antara COP dan volume beban es krim, dan interpolasi liniernya

Dari Gambar 13, didapat bahwa interpolasi linier data tersebut menghasilkan persamaan  $y=0,197x+2,405$  dengan nilai  $R^2$  adalah 0,994. Sehingga dapat diperkirakan mesin pembuat es krim tersebut beroperasi dengan COP 3,365 pada beban 5 liter.

#### 4. Pembahasan

Metodologi penelitian dengan 3 tahap yaitu perencanaan, perakitan, dan pengujian,

menunjukkan hasil dapat perencanaan dengan beban pendingin transmisi 5,57 W, infiltrasi 97W, produk 368 W, dan *safety factor* 47,057 W, sehingga beban total adalah 517,6Watt. Dengan beban tersebut diharapkan Performa mesin pembuat es krim kapasitas 5 liter adalah 2.

Total biaya perencanaan perakitan mesin adalah Rp1.898.000,-. Biaya ini termasuk murah apabila dibandingkan dengan mesin pembuat es krim pada umumnya. Walaupun memang tetap ada yang lebih murah daripada mesin ini, tapi dengan kapasitas pendinginan yang relatif lebih kecil. Artinya dengan kapasitas pendinginan yang sama, mesin pembuat es krim ini tetap termasuk murah. Setelah dirakit, dilakukan pengujian dengan cara pengambilan data tegangan listrik, arus listrik, PG1, PG2,T1,T2,T3,dan T4, untuk mengetahui performa sistem. Data-data tersebut diolah menggunakan diagram PH r134a untuk mendapatkan data-data entalpi (h1,h2,h3,h4). Kemudian dilakukan perhitungan efek refrigerasi (qe), kerja kompresi (W), dan COP. Perhitungan didapat rata-rata COP untuk setiap variasi beban pendingin. Untuk rata-rata COP dengan beban ¼ liter bahan es krim yaitu 2,45, beban ½ liter bahan es krim yaitu 2,51, beban 1 liter bahan es krim yaitu 2,6, ketiga rerata ini di cari hubungannya dengan pendekatan interpolasi linier yang ditunjukkan pada grafik hubungan antara COP dan volume beban es krim, dan interpolasi liniernya (gambar 13) . Dari interpolasi linier, didapat persamaan  $y=0,197x+2,405$  dengan nilai  $R^2$  adalah 0,994. Sehingga dapat diperkirakan mesin pembuat es krim tersebut beroperasi dengan COP 3,365 pada beban 5 liter. Sedangkan pada

perencanaan nilai COP adalah 2. Hal ini terjadi perbedaan yang disebabkan oleh perencanaan dihitung pada kondisi ideal, tidak ada energi yang hilang, dan kondisi beban infiltrasi, transmisi maupun produk dalam keadaan homogen, bahkan daya kompresor perencanaan lebih kecil daripada daya kompresor terpasang. Sedangkan setelah melalui proses perakitan, setiap komponen memiliki efisiensi sendiri, kondisi selalu ada energi yang hilang, sehingga bisa terjadi perbedaan nilai COP antara perencanaan dan pengujian.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh proses penelitian, dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa :

- 1) Beban total pendingin perencanaan adalah 517,6 watt
- 2) Total biaya perakitan adalah Rp 1.898.000
- 3) Proses perakitan tidak sempurna menyebabkan adanya perbedaan COP perencanaan dan interpolasi linier hasil pengujian
- 4) COP perencanaan pada kapasitas 5 liter adalah 2, sedangkan COP hasil interpolasi pengujian adalah 3,365

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar K, 2010. *Efek beban pendingin terhadap performa sistem mesin pendingin*, Jurnal SMARTek, Vol. 8 No. 3 Halaman: 203 – 214.
- Arismunandar, W. & Heizo Sato. 1980. *Penyegaran Udara*. Jakarta : PT. Pradnya Pramita.
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Refrigeration Chapter 9 Thermal Properties Of Food*. N, E., Atlanta.
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Refrigeration Chapter 13 Refrigeration Load*. N, E., Atlanta : Ashrae
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Refrigeration Chapter 29 Refrigerant*. N, E., Atlanta : Ashrae
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Refrigeration Chapter 30 Thermophysical Properties Of Refrigerant*. N, E., Atlanta : Ashrae
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Refrigeration Chapter 33 Physical Properties Of Materials*. N, E., Atlanta : Ashrae
- ASHRAE. 2009. *Ashrae Handbook Fundamental*. N, E., Atlanta : Ashrae
- Bintoro, A. 2008. *Perancangan containerized block*. Jakarta :FT UI.
- Çengel, Y. A. and Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5<sup>th</sup> edition*.
- Darma, Puspitasari dan Noerhartati, E. 2013. “Pembuatan es krim jagung manis kajian jenis zat penstabil, konsentrasi non *dairy cream* serta aspek kelayakan finansial”. Jurnal REKA Agroindustri. Vol 1. Hal. 45-55.

- Dossat, R., J. 1961. *Principles Of Refrigeration*. American Society. Singapore : John Wiley & Sons Ltd
- Hartoyonadi. 2015. Perencanaan Ice Cream Maker Kapasitas 5 liter. Sekayu : Politeknik Sekayu
- Hundy G F., Trott A R., dan Welch. 2008. *Refrigeration and Air Conditioning Edition Fourth Edition*.
- Moran, M., J and Saphiro H., N. 2006. *Fundamentals Of Engineering Thermodynamic Fifth Edition*. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd
- Rudoy, W. 1980. *Cooling Load Calculation Manual*. Washington D.C.
- Stoecker, W., F & Jerold W. Jones. 1992. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Edisi II. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta :Erlangga.
- Sulistiono, M. *Analisa Performansi Mesin Bar Ice Cream Manual Maker Kapasitas ¼ HP dengan variasi beban pendingin*. Sekayu : Politeknik Sekayu
- Tampubolon D., Samosir R., 2005. *Pemahaman tentang sistem refrigerasi*, Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 No. 1 Halaman: 312 – 316.
- Whitman, B. et al. 2008. *Refrigeration and Air Conditioning Technology Edition Six Edition*. Clifton Park USA.