

PERENCANAAN DAN PERAKITAN *ICE FLAKE MAKER* KAPASITAS 1 LITER AIR

Iskandar², Mahendra¹, M. Arif Anggara¹

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

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang 30139, Indonesia

Aripanggara1234@ymail.com

ABSTRAK

Ice flake maker adalah suatu mesin yang digunakan sebagai mesin pembekuan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui total beban pendingin,, langkah perakitan, biaya perakitan, serta untuk mengetahui nilai COP aktual perencanaan & perakitan. Metode yang digunakan meliputi 5 tahap yaitu perencanaan, pemilihan komponen, perencanaan biaya, perakitan, dan pengujian mesin *ice flake maker*. Pada perancangan dibagi dua proses yaitu desain termal atau perhitungan beban pendingin dan desain kabin atau dimensi ruang penyimpanan. Pada pemilihan komponen terdiri dari komponen refrigerasi dan komponen kelistrikan. Rencana anggaran biaya dalam proses rancang bangun ini dititik beratkan untuk pembelian komponen dan proses perakitan. Perakitan mesin *ice flake maker* memiliki tiga tahap yaitu perakitan kerangka, *body* dan pemipaan. Pengujian COP dilakukan dengan pengambilan data *temperature* lingkungan dan kabin, tekanan discharge dan tekanan *suction*, tegangan listrik dari sumber listrik, dan arus listrik yang masuk ke kompresor. dengan perbedaan waktu 20 menit. Beban yang digunakan adalah air dengan berat 1 kg atau 1 liter air bersih. Kemudian data dianalisis menggunakan perhitungan manual dengan menggunakan ph diagram untuk mendapatkan nilai entalpi. Kemudian dilakukan perhitungan nilai COP aktual. Berdasarkan seluruh proses penelitian dapat disimpulkan bahwa komponen utama terdiri dari kompresor dengan spesifikasi 237 watt. Evaporator dengan dimensi ukuran kabin yang berbentuk lingkaran atau tabung dengan diameter 11 cm, tinggi 38 cm, dan jari-jari 5,5 cm dengan panjang pipa 7 cm. Pipa kapiler berdiameter 0,031 inch dengan panjang 2,02 meter. Kondensor berpendingin udara (*air-cooled*) dengan jumlah lekukan pipa sebanyak 6 U. Beban total pendingin perencanaan adalah 0,569 kW atau 569 Watt, total biaya perakitan adalah Rp 2.619.500. Dari rancang bangun ini di dapat nilai COP mesin *ice flake maker* ini adalah 2,1, COP_C 4,5 dan efisiensinya 46%.

Kata kunci: Mesin *ice flake maker*, Perencanaan, COP.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor atau panas dari suatu benda atau ruang untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda ekuivalen dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. Pada aplikasi tata udara (*air conditioning*), kalor yang diambil berasal dari udara. Untuk mengambil kalor dari udara, maka udara harus bersentuhan dengan suatu bahan atau material yang memiliki temperatur yang lebih rendah.

Suatu mesin refrigerasi memiliki tiga sistem terpisah yakni:

1. Sistem refrigerasi
2. Sumber daya untuk menggerakkan kompresor, yang berupa motor listrik
3. Sistem kontrol untuk menjaga suhu benda atau ruangan seperti diinginkan.

Mesin refrigerasi dapat berupa lemari es pada rumah tangga, mesin pembeku (*freezer*), pendingin sayur dan buah-buahan pada *supermarket*, mesin pembeku daging dan ikan, dan sebagainya.

Peralatan ini dapat dijumpai mulai dari skala kecil pada rumah tangga hingga skala besar pada aplikasi *komersial* dan industri. Disamping itu, sistem refrigerasi kompresi uap juga digunakan pada aplikasi tata udara. Pada aplikasi tata udara untuk hunian manusia, mesin yang digunakan dapat ditemui mulai dari skala kecil seperti AC *window* dan AC *split*, sampai dengan skala menengah dan besar seperti *packaget rooftop air conditioner*, *watercooled chiller*, dan *air-cooled chiller*: (Stoecker, W.F., Jones, J.W., 2001)

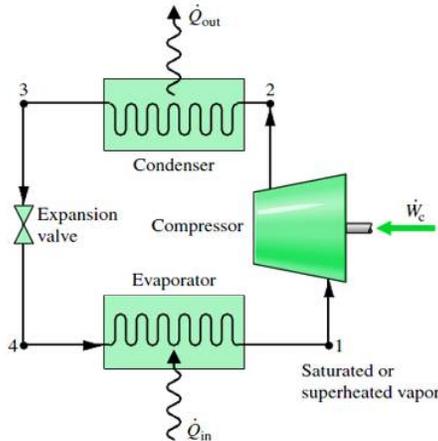
1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

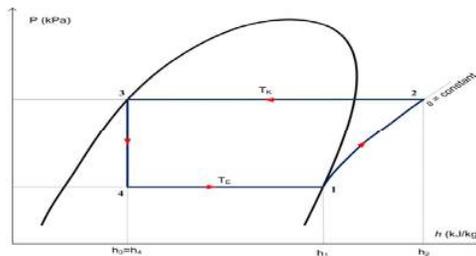
1. Untuk mengetahui total beban pendingin mesin *ice flake maker* kapasitas 1 liter air bersih
2. Untuk mengetahui jumlah biaya perakitan rancang bangun mesin *ice flake maker* kapasitas 1 liter air bersih
3. Dapat memahami langkah-langkah dalam rancang bangun mesin *ice flake make* sistem kompresi uap dengan temperatur 0°C s/d - 16°C
4. Dapat mengetahui nilai COP perancangan dan perakitan mesin *ice flake maker* kapasitas 1 liter air bersih.

2. Tinjauan Pustaka

Siklus pendingin kompresi uap merupakan jenis siklus yang paling banyak digunakan pada mesin pendingin dan tata udara saat ini. Siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator (Moran M.J., Shapiro, H.N., 2006). Susunan empat tersebut secara skematik ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. Siklus Pendingin Sistem Kompresi Uap. (Moran M.J., Shapiro, H.N., 2006)



Gambar 2. Diagram P-h siklus kompresi uap ideal (Moran M.J., Shapiro, H.N., 2006)

2.1. Cara Kerja Siklus Kompresi Uap

Proses 1-2 ; refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap super panas dengan temperatur yang tinggi, lebih tinggi dari temperatur lingkungan sehingga pembuangan panas bisa berlangsung.

Proses kompresi

Proses ini terjadi di kompresor dimana uap refrigeran dengan tekanan dan temperatur rendah yang masuk ke kompresor melalui *suction line* dikompresi didalam silinder kompresor sehingga temperatur 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: (Moran M.J., Shapiro, H.N., 2006)

$$q_w = (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

q_w = Besarnya kerja kompresi (kJ/kg)

h_1 = *Enthalpy* refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = *Enthalpy* refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

Proses 2-3 ; setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (udara atau air) dengan temperatur lebih rendah dari pada temperatur refrigeran. Oleh karena itu kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan refrigeran akan mengalami penurunan temperatur dari kondisi uap panas lanjut menuju kondisi uap jenuh, selanjutnya mengalami proses pengembunan menjadi refrigeran cair. Refrigeran keluar kondensor sudah berupa refrigeran cair. Proses kondensasi berlangsung pada temperature dan tekanan yang konstan.

Proses kondensasi

Proses ini terjadi dikondensor dimana uap refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi yang masuk ke kondensor melalui *discharge line* dikondensasikan didalam kondensor sehingga refrigeran yang keluar dari kondensor diharapkan berubah fasa dari fasa uap ke fasa cair. Besarnya kalor yang dilepas di kondensor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: (Moran M.J., Shapiro, H.N., 2006)

$$q_c = (h_2 - h_3) \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

q_c = Besarnya kalor yang dibuang kondensor (kJ/kg)

h_2 = *Enthalpy* refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = *Enthalpy* refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

Proses 3-4 ; refrigeran dalam keadaan wujud cair jenuh (tingkat keadaan 3) kemudian mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara tak reversibel sehingga tekanan refrigeran menjadi rendah (tekanan evaporator). Refrigeran keluar alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur rendah.

Proses ekspansi

Proses ini terjadi di alat ekspansi dimana refrigeran cair yang berasal dari kondensor di ekspansi sehingga temperatur dan tekanan refrigeran yang keluar dari alat ekspansi turun

drastis dan selanjutnya masuk evaporator untuk menyerap kalor dari ruangan atau media yang hendak didinginkan:

Proses 4-1 ; Refrigeran dalam fase campuran uap-cair, mengalir melalui evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mengalami proses penguapan sebagai akibat dari panas yang diserap dari sekeliling evaporator. Dengan adanya penyerapan panas ini, maka disekeliling evaporator (ruangan yang dikondisikan) menjadi dingin atau temperaturnya turun. Selanjutnya refrigeran yang meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh. Proses penguapan tersebut berlangsung pada temperatur dan tekanan yang konstan.

Proses evaporasi

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 refrigeran diharapkan berubah fasa dari fasa cair menjadi fasa uap jenuh (saturasi). Besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut: (Moran M.J., Shapiro,H.N., 2006)

$$q_e = (h_1 - h_4) \dots \dots \dots (2.3)$$

- dengan:
- q_e = Besarnya kalor yang dibuang kondensor (kJ/kg)
 - h_1 = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
 - h_4 = *Enthalpy* refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

2.2. Perencanaan Mesin Ice Flake Maker

Beban pendingin adalah perhitungan kalor baik yang berada di dalam ruangan maupun diluar ruangan. Sehingga dapat menentukan kapasitas alat yang sesuai dengan efesiesinya. 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.

1) Beban Kalor Transmisi

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

$$Q_h = U \times A \times \Delta t \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- Q_h = laju aliran kalor transmisi (W)
 - U = koefisien perpindahan kalor (W/m².K)
 - A = luas permukaan benda (m²)
 - Δt = perbedaan temperatur (°K)
- Untuk mencari nilai Koefisien perpindahan kalor:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_1}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- k = Konduktivitas thermal material (W/m².K)
- h_1 = Koefisien konveksi permukaan udara dalam (W/m².K)
- h_0 = Koefisien konveksi permukaan udara luar (W/m².K)
- x = Ketebalan material atau bahan (m)
- U = Koefisien perpindahan kalor (W/m².K)

2) Beban kalor produk

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

- a. Kalor yang di lepaskan untuk mengurangi temperatur produk akibat produk tersebut di simpan dalam temperatur penyimpanan.
- b. 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*.

Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung banyaknya kalor yaitu (ASHRAE, 2006)

- a. Panas yang dibuang dari temperatur awal ke temperatur dingin (diatas titik beku produk) sebagai berikut: $Q_1 = m.c_1 (t_1 - t_2)$
- b. Panas yang dibuang dari temperatur dingin produk ke titik beku produk ($Q_{sensible}$) sebagai berikut : $Q_2 = m.c_1 (t_1 - t_f)$
- c. Panas yang dibuang untuk membekukan produk (Q_{latent}) adalah: $Q_3 = m.h_{if}$
- d. Panas yang dibuang dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan sebagai berikut: $Q_4 = m. (t_f - t_3)$

Keterangan:

- Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 = Panas yang dibuang (kJ)
- m = Massa produk (kg)
- c_1 = *Specific heat of product above freezing* (kJ/kg.K)
- t_1 = *Initial temperature of product above freezing* (°C)
- t_2 = *Lower temperature of product above freezing* (°C)
- t_3 = *Final temperature of product below freezing* (°C)
- t_f = *Freezing temperature of product* (°C)
- h_{if} = *Latent heat of fusion of product* (kJ/kg)

3) Beban Kalor Infiltrasi

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

$$q_i = q \times D_t \times D_f (1-E)$$

Dimana:

- q_i = Beban refrigerasi (KW)

q = Beban *sensible* dan *latent* refrigerasi (KW)
 D_t = *Doorway open-time factor*
 D_f = *Doorway flow factor* (1,1)
 E = *Effectiveness of doorway protective device* (0,95)

a. Mencari nilai (q)

$$q = 0.221 \cdot A \cdot (h_i - h_r) \cdot \rho_i \cdot (1 - \frac{E}{D_f})^{0.5} \cdot (g \cdot H)^{0.5} \cdot F_m$$

Keterangan:

A = Luas pintu terbuka (m²)
 h_i = *Entalpi ambient* (kJ/kg)
 h_r = *Entalpi refrigerasi* (kJ/kg)
 ρ_i = Massa jenis udara ambient (kg/m³)
 ρ_r = Massa jenis udara refrigerasi (kg/m³)
 g = Gravitasi (m/s²)
 H = Tinggi pintu (m)
 F_m = Factor massa jenis

b. Mencari nilai (D_t)

$$D_t = \frac{0.5q + 60a_j}{3600 \cdot ad}$$

Keterangan:

P = Jumlah Pintu
 θ_p = Lamanya pintu terbuka-tertutup (detik)
 θ_a = Waktu pintu terbuka (menit)
 θ_d = Lama pintu digunakan dalam sehari (jam)

4) *Safety factor*

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

$$Safety\ factor = (Q_{transmisi} + Q_{infiltrasi} + Q_{produk}) \times 10\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

Q_{transmisi} = Nilai total beban transmisi (kW)
 Q_{infiltrasi} = Nilai total beban infiltrasi (kW)
 Q_{produk} = Nilai total beban produk (kW)

2.3 Prestasi Kompresi Uap

Kinerja dari suatu sistem refrigerasi dapat di tentukan dari besaran-besaran sebagai berikut (ASHRAE, 2001):

1) Efek Pendinginan (*Refrigeration Effect*)

Proses efek refrigerasi terjadi pada siklus 4-1 seperti pada gambar 2.1 diatas. Berikut ini persamaan yang dapat digunakan untuk mengetahui efek refrigerasi dari suatu sistem.

$$Q_{refrigeration\ Effect} = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

Q_r = Efek refrigerasi (kJ/kg)
 h₁ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
 h₄ = *Enthalpy* refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

2) Laju Aliran Massa Refrigeran

Untuk dapat menghitung laju aliran masa refrigeran maka dapat dihitung dengan membagi

kapasitas pendinginan dengan efek refrigerasi seperti persamaan berikut:

$$\dot{m} = \frac{Q_{in}}{Q_{refrigeration\ Effect}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

ṁ = Laju aliran massa (kg/s)
 Q_{in} = *Safety factor* (kW)
 Q_r = Efek refrigerasi (kJ/kg)

3) Kerja Kompresi Uap dan Daya Kompresor

Untuk menghitung kerja kompresi dan daya kompresor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_k = h_2 - h_1$$

$$W_k = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

W_k = Kerja kompresor (kJ/kg)
 h₁ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
 h₂ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

4) Pembuangan Kalor dan Daya Kondensor

Dari kesetimbangan energi, kalor yang dilepaskan dikondensor haruslah sama dengan jumlah efek refigerasi dan kalor yang equivalen dengan kerja yang dberikan kepada refigeran selama proses kompresi di kondensor

$$Pelepasan\ kalor = h_2 - h_3$$

$$W_{kondensor} = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

ṁ = Laju aliran massa (kg/s)
 h₁ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
 h₃ = *Enthalpy* refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

5) *Coefficient Of Performance*

$$COP = \frac{Q_{refrigeration\ Effect}}{Compression\ work} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Keterangan:

h₁ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
 h₂ = *Enthalpy* refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)
 h₃ = *Enthalpy* refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)
 h₄ = *Enthalpy* refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

2.4 Pemilihan Refigeran

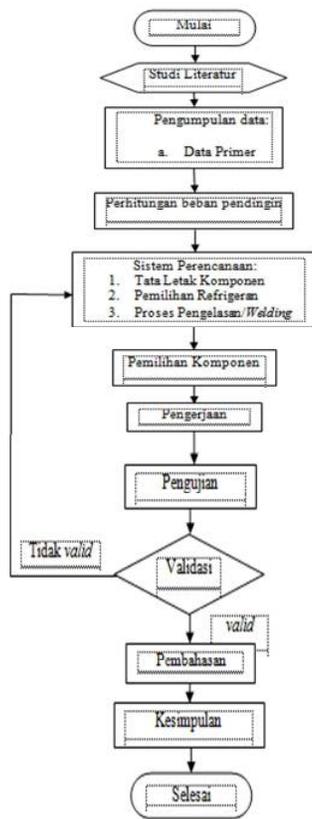
Refrigeran adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran merupakan komponen terpenting di siklus refigerai karena refigeran yang menimbulkan efek, pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. mendefinisikan refigeran sebagai fluida kerja didalam mesin refrigerasi, pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor. Refigeran menyerap panas dari suatu lokasi dan memindahkannya

kelokasi yang lain, biasanya melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Pemilihan jenis refrigeran yang akan digunakan dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa sifat berikut: (ASHRAE, 2005)

- 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.

3. Proses Perencanaan

3.1 Diagram Alir Perencanaan Mesin Ice Flake Maker Kapasitas 1 Liter Air Bersih



Gambar 3. Diagram Alir Perencanaan Mesin Ice Flake Maker

3.2 Prosedur perencanaan Mesin Ice Flake Maker

- 1) Mulai
Adalah awal dari proses rancang bangun pada pembuatan mesin *ice flake Maker*
- 2) Studi Literatur
Berisi tentang kajian pustaka dan membahas tentang teori yang melandasi rancang bangun sistem refrigrasi mesin es serut (*ice flake maker*)

- 3) Persiapan
Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai rancang bangun mesin *ice flake maker*. Dalam tahap awal ini disusun hal-hal yang penting yang harus segera dilakukan dengan tujuan untuk efisiensi waktu dan pekerjaan.

- 4) Pengumpulan Data
Pengumpulan data merupakan sarana pokok untuk menemukan penyelesaian suatu masalah secara ilmiah. Dalam pengumpulan data, peranan instansi yang terkait sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memperoleh cara rancang bangun mesin *ice flake maker* yang diperlukan.

- a. Data primer
Data primer adalah data yang diperoleh dari sumber buku adapun data primer yang dibutuhkan dalam melakukan rancang bangun mesin *ice flake maker* ini adalah.

- 5) Sistem Perencanaan
Sistem perencanaan adalah tahap awal untuk melakukan sebuah rancang bangun *ice flake maker* sebelum melakukan pemilihan komponen seperti tata letak komponen, pemilihan refrigeran, dan proses pengelasan/*welding*

- 6) Pemilihan Komponen
Menentukan atau pemilihan komponen-komponen adalah suatu prosedur yang dapat dilakukan untuk proses perencanaan mesin *ice flake maker* berdasarkan proses perhitungan yang telah dilakukan.

- 7) Pengerjaan
Perakitan atau rancang bangun mesin *ice flake maker* adalah suatu proses pengerjaan secara langsung dalam penginstalasian komponen-komponen mesin *ice flake maker* yang dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dirancang.

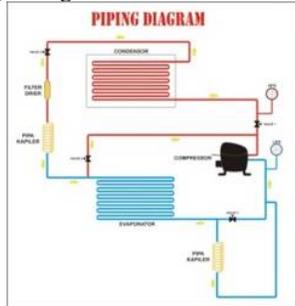
- 8) Pengujian
Perencanaan mesin *ice flake maker* adalah suatu proses pengujian mesin *ice flake maker* yang sesuai berdasarkan perencanaan yang dilakukan.

- 9) Analisa data
Pada proses ini terdapat jawaban, jika “Ya” maka proses dilanjutkan dengan perkiraan biaya dalam melakukan rancang bangun dan jika “Tidak” maka proses dilakukan kembali ke proses perhitungan dan pemilihan komponen.

- 10) Pembahasan
Pembahasan adalah suatu proses pembahasan secara langsung dalam penginstalasian komponen-komponen mesin *ice flake maker* yang dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dirancang

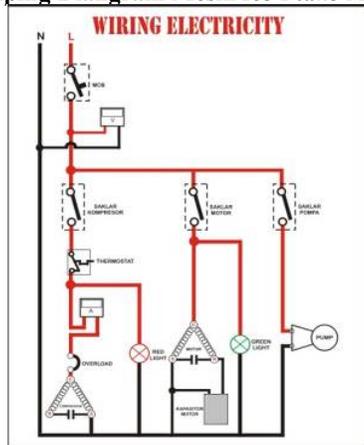
- 11) Kesimpulan
Kesimpulan adalah suatu proses langka akhir dari rancang bangun bahwa hasil akhir dari rancang bangun mesin *ice flake maker* tersebut bisa di terima mulai dari penyimpulan data, pembiayaan dan lain-lain.
- 12) Selesai
Selesai atau *finishing* adalah proses dari akhir dalam pembuatan

3.3 Piping Diagram Mesin Ice Flake Maker



Gambar 4. Piping Diagram Mesin Ice Flake Maker

3.4 Piping Diagram Mesin Ice Flake Maker



Gambar 5. Piping Diagram Mesin Ice Flake Maker

4. Pembahasan dan Perencanaan

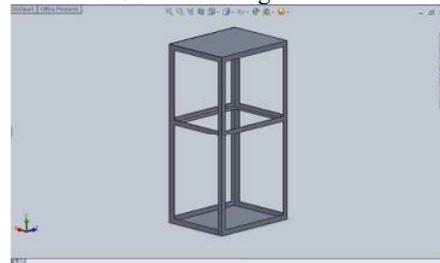
- 1) Perhitungan Beban
Dalam rancang bangun mesin *ice flake maker*, salah satu proses yang harus dilakukan adalah:
 - a) Beban Transmisi
 - b) Beban Infiltrasi
 - c) Beban Produk
- 1) Data-data yang diperlukan
Adapun data-data yang diperlukan sebelum melukan perhitungan pada rancang bangun mesin *ice flake maker* ini adalah:
 - a) Massa maksimum penyimpanan air adalah 1kg
 - b) Menurut Moran, M., J, Saphiro, H., N, (2006) Cp air yaitu sebesar 4,217 (kJ/kg.k)
 - c) Waktu yang diperlukan untuk menurunkan temperatur air dari temperatur awal 30°C (303⁰K) ke temperatur akhir air -16°C (257⁰K) ditentukan selama 5 jam sehari alasan kenapa 5

jam sehari karna dari hasil perencanaan mesin *ice flake maker*.

Tabel 1 Unfrozen Data, And Specific Heat Of Food Property Tables And Charts (Si Units, (Appendix 1) (Moran, M., J, Saphiro, H., N, 2006)

Food	Water Content, % (mass)	Temperature, T °C	Density, ρ kg/m ³	Thermal Conductivity, k W/m.K	Thermal Diffusivity, α m ² /s	Specific Heat, c _p kJ/kg.K
Other						
Butter	16	4	—	0.197	—	2.08
Chocolate cake	31.9	23	340	0.106	0.12 × 10 ⁻⁶	2.48
Margarine	16	5	1000	0.233	0.11 × 10 ⁻⁶	2.08
Milk, skimmed	91	20	—	0.566	—	3.96
Milk, whole	88	28	—	0.580	—	3.89
Olive oil	0	32	910	0.168	—	—
Peanut oil	0	4	920	0.168	—	—
Water	100	0	1000	0.569	0.14 × 10 ⁻⁶	4.217
	100	30	995	0.618	0.15 × 10 ⁻⁶	4.178
White cake	32.3	23	450	0.082	0.10 × 10 ⁻⁶	2.49

2) Dimensi Ukuran Kerangka



Gambar 6. Kerangka mesin ice flake maker

3) Bahan

Bahan yang digunakan untuk rancang bangun mesin *ice flake maker* yakni berbahan *polyurethane* yang dilapisi oleh *aluminium galvanis* pada kedua sisi dinding. Alasan kenapa dalam rancang bangun mesin *ice flake maker* ini menggunakan 2 bahan tersebut adalah:

- a. *Polyurethane* karna bahan tersebut sangatlah mudah dibentuk dan sangatlah cocok untuk sisi dalam pada kabin atau ruang penyimpanan seperti air, buah-buahan, daging, ikan, susu, dan sayur-sayuran
- b. *Aluminium galvanis* karna bahan ini dapat menyebarkan kalor yang sangat baik pada suatu ruang penyimpanan

Tabel 2 Jenis bahan atau struktur dinding pada Mesin ice flake maker

No	Bahan	Ketebalan (m)	Konduktivitas thermal (W/m.K)	Keterangan
1	Aluminium	0,002	237	body/casing
2	Polystyrene	0,05	0,027	lapisan kabin
3	Aluminium	0,002	237	body/casing

- a. Beban Kalor transmisi
Berikut perhitungan beban transmisi atau beban kalor yang melewati material lapisan dinding.

Kabin pada mesin *ice flake maker* ini berbentuk tabung/lingkaran, maka:

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

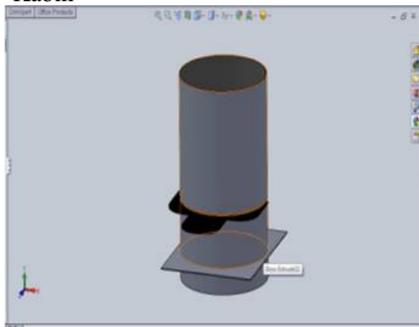
Mencari nilai dari U:

$$U = \frac{Q}{A \times \Delta t}$$

$$U = \frac{0,335 \text{ kW}}{1,46797 \text{ m}^2 \times (303 - 257) \text{ K}}$$

$$U = 0,050 \text{ W/m.K}$$

a) Kabin



Gambar 7. Kabin mesin *ice flake maker*

Volume tabung

Diameter = 11 cm

Tinggi = 38 cm

Jari - jari = 5,5 cm

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$V = 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 38 = 3609,43 = 0,003609 \text{ m}^3$$

Luas permukaan tabung

$$2\pi r (r + t)$$

$$L_{\text{permukaan tabung}} = 2 \times 3,14 \times 5,5 (5,5 + 38)$$

$$L_{\text{permukaan tabung}} = 1467,97 \text{ cm}^2 = 0,146797 \text{ m}^2$$

Alas tabung

$$\pi \times r^2$$

$$\text{Alas tabung} = 3,14 \times 5,5^2$$

$$\text{Alas tabung} = 94,985 \text{ cm}^2 = 0,009498 \text{ m}^2$$

Luas selimut tabung

$$2 \times \pi \times r \times t$$

$$\text{Selimut tabung} = 2 \times 3,14 \times 5,5 \times 38$$

$$\text{Selimut tabung} = 1312,52 \text{ cm}^2 = 0,131252 \text{ m}^2$$

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

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

$$Q = 0,050 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0,146 \text{ m}^2 \times (303^0\text{K} - 257^0\text{K})$$

$$Q = 0,335 \text{ kW} = 335 \text{ Watt}$$

b) Beban Kalor Infiltrasi

Beban infiltrasi merupakan beban yang termasuk akan mempengaruhi proses pendinginan didalam ruangan. Jika diketahui *doorway flow factor* (D_f) 1,1 dan *effectiveness of doorway protective device* (E) adalah 0,95 kemudian t_{dbi}

30^0C dan t_{dbr} sebesar -16^0C , h_i 81,899 kJ/kg dan h_r sebesar $-12,623$ kJ/kg berikut adalah perhitungan kalor beban infiltrasi.

Tabel 3 Perhitungan menggunakan software CARRIER HDPsyChart

Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur ruangan yang diinginkan	-16	^0C
Temperatur lingkungan	30	^0C
Kelembaban ruangan	100	%
Kelembaban lingkungan	75	%
Massa jenis udara ruangan (ρ_r)	1,36	kg/m^3
Massa jenis udara lingkungan (ρ_i)	1,15	kg/m^3
D_i (Doorway open-time factor)	1,4	-
D_f (Doorway flow factor)	1,1	-
E (Effectiveness of doorway protective device)	0,95	-
Gravitasi	9,8	m/s^2
h_i (Entalpi ambient)	81,899	kJ/kg
h_r (Entalpi refrigerasi)	-12,623	kJ/kg

Dimana:

$$q_i = q \times D_i \times D_f (1-E)$$

Mencari nilai Beban *sensible* dan *latent* refrigerasi (kW)

$$q = 0,2231 \cdot A \cdot (h_i - h_r) \cdot (1 - \frac{h_i}{h_r})^{0,5} \cdot (\rho_i \cdot W)^{0,5} \cdot F_{m,i}$$

Maka, nilai q:

$$q = 0,2231 \times 0,161 \times (81,899 - (-12,623)) \times (1 - \frac{81,899}{-12,623})^{0,5} \cdot (0,003609 \cdot 1,15)^{0,5} \cdot 0,95$$

$$q = 0,2231 \times 0,161 \times (94,522) \times (1,36) \times (0,003609) \times (2,12) \times 0,95$$

$$q = 0,736 \text{ kW}$$

Mencari nilai factor massa jenis (F_m)

$$F_{m,i} = \frac{2}{1 + (\frac{h_i}{h_r})^{0,5}}$$

$$F_{m,i} = \frac{2}{1 + (\frac{81,899}{-12,623})^{0,5}}$$

$$F_{m,i} = \frac{2}{1 + (3,43333)^{0,5}}$$

$$F_{m,i} = \frac{2}{4,0722}$$

$$F_{m,i} = [0,972]$$

$$F_{m,i} = 0,95$$

$$D_i = \frac{0,5 \times (0,335 \text{ kW})}{0,335 \text{ kW} \times 1 + (0,5 \times 0,335 \text{ kW})}$$

$$D_i = 1,4$$

Maka nilai q_i :

$$q_i = q \times D_i \times D_f (1-E)$$

$$q_i = 0,736 \times 1,4 \times 1,1 (1-0,95)$$

$$q_i = 0,736 \times 1,4 \times 1,1 (0,05)$$

$$q_i = 0,0566 \text{ kW} = 56,6 \text{ Watt}$$

c) Beban Produk

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

$$Q_1 = (1 \text{ kg}) \cdot (4,217 \text{ kJ/kg.K}) \cdot (298^\circ\text{K} - 273^\circ\text{K})$$

$$Q_1 = 105,425 \text{ kJ}$$

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

$$Q_2 = m \cdot h_{\text{if}}$$

$$Q_2 = (1 \text{ kg}) \cdot (333,7 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_2 = 333,7 \text{ kJ}$$

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

$$Q_3 = m \cdot (t_f - t_3)$$

$$Q_3 = (1 \text{ kg}) \cdot (273^\circ\text{K} - 257^\circ\text{K})$$

$$Q_3 = 16 \text{ kJ}$$

Jadi besarnya kalor 1kg air bersih adalah sebesar:

$$Q_{\text{total 1kg air}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{\text{total 1kg air}} = 105,425 \text{ kJ} + 333,7 \text{ kJ} + 16 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total produk}} = 455,125 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total produk}} = 0,025 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{total produk}} = 25 \text{ Watt}$$

d) *Safety factor*

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

$$= (0,335 \text{ kW} + 0,0566 \text{ kW} + 0,025 \text{ kW}) \times (10\%)$$

$$= 0,4166 \times 10\%$$

$$= 0,04166 \text{ kW}$$

Dari nilai *safety factor* diatas dapat diketahui besarnya total beban kalor pendingin sebesar :

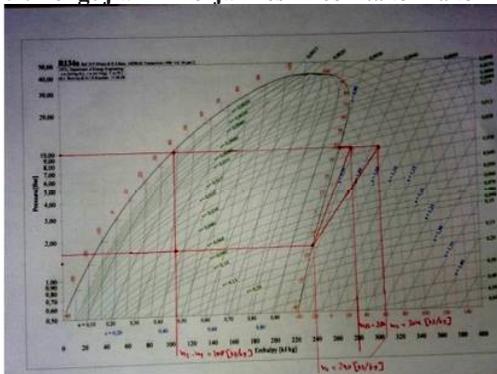
$$\text{Total cooling load } (Q_{\text{total}}) = Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{produk}} + \text{Safety factor}$$

$$= 0,335 + 0,0566 + 0,025 + 0,04166 \text{ (kW)}$$

$$= 0,683 \text{ kW}$$

$$= 683 \text{ Watt}$$

4.2. Pengujian Kinerja Mesin Ice Flake Maker



Gambar 8. Siklus kompresi uap perancangan pada Diagram P-H R-134a

Tabel 4 Nilai entalpi, plotting diagram P-h

Point	Value	Unit
h ₁	240	kJ/kg
h _{2s}	280	kJ/kg
h ₂	301	kJ/kg

h ₃	108	kJ/kg
h ₄	108	kJ/kg

4.3. Menghitung nilai COP (*Coeffisien Of Performance*)

Untuk menghitung nilai COP diperlukan perhitungan data-data sebagai berikut:

1. Mencari nilai h₂

$$\mu = \frac{h_2 - h_1}{h_1 - h_4}$$

$$0,65 = \frac{h_2 - 240}{240 - 108}$$

$$0,65 = \frac{h_2 - 240}{132}$$

$$h_2 - 240 = 85,8$$

$$h_2 - 240 = 61,53$$

$$h_2 = 61,53 + 240$$

$$h_2 = 301 \text{ kJ/kg}$$

2) *Refrigeration Effect*

Dari tabel 4.6 maka efek refrigerasi atau efek pendinginan yang dihasilkan evaporator dapat dihitung:

$$Q_{\text{refrigeration Effect}} = (h_1 - h_4)$$

$$= (240 - 108) \text{ (kJ/kg)} = 132 \text{ kJ/kg}$$

3) *Laju Aliran Massa*

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{refrigeration Effect}}}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m} = \frac{0,025 \text{ kW}}{132 \text{ kJ/kg}} = 0,00031 \text{ kg/s}$$

4) *Kerja kompresi dan Daya kompresor*

Kerja kompresi yang harus dilakukan oleh kompresor mesin ice flake maker ini dapat kita ketahui:

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

$$W_{\text{kom}} = 0,00031 \text{ kg/s} \cdot (61 \text{ kJ/kg})$$

$$= 0,0189 \text{ kJ/s atau } 0,189 \text{ kW}$$

Kerja kompresi $(h_2 - h_1) = (301 - 240) \text{ (kJ/kg)}$
 $= 61 \text{ kJ/kg}$

5) *Pelepasan Kalor dan Daya Kondensor*

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

$$= (301 - 108) \text{ (kJ/kg)}$$

$$= 193 \text{ kJ/kg}$$

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

a. $= 0,00031 \text{ kg/s} \cdot (193) \text{ kJ/kg}$
 b. $= 0,0598 \text{ kJ/s atau } 0,0598 \text{ kW}$

Setelah melakukan perhitungan diatas maka nilai COP didapat sebagai berikut:

$$\text{COP}_a = \frac{Q_{\text{refrigeration Effect}}}{W_{\text{kom}}}$$

$$\text{COP}_a = \frac{132}{61} = 2,1$$

$$\text{COP}_c = \frac{T_{\text{transp}} + 273}{T_{\text{transp}} - T_{\text{evap}}}$$

$$= \frac{273 + 273}{273 - 240} = 5,6$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{COP}_a}{\text{COP}_c} = \frac{2,1}{5,6} = 0,375 \text{ atau } 37,5\%$$

4.4. Penentuan Komponen Refrigerasi

1) Kompresor

Sesuai dengan perhitungan $W_k = \dot{m} (h_2 - h_1)$ yang didapat serta refrigerant yang dipilih yaitu kompresor hermetik untuk refrigeran R134a yaitu dengan spesifikasi daya sebesar 0,189 kW atau 189 Watt (hasil perhitungan). Spesifikasi yang tersedia di pasaran:

1 PK = 746 Watt

½ PK = 373 Watt

¼ PK = 189 Watt (yang mendekati spesifikasi perencanaan)

1/8 PK = 93 Watt

Jadi dipilih kompresor dengan spesifikasi ¼ PK yang lebih mendekati perencanaan.

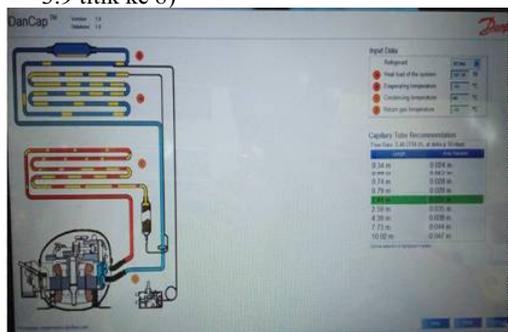
2) Kondensator

Mesin *ice flake maker* ini termasuk dalam jenis mesin refrigerator domestik, yang memiliki kapasitas lebih kecil dibanding mesin refrigerator industri, adapun melihat jenis refrigerator domestik ini tipe kondensator yang direkomendasikan adalah jenis kondensator berpendingin udara (*air-cooled*), dengan mengikuti spesifikasi pabrikan yakni dengan jumlah jala sebanyak 6 buah lekukan atau 6 bentuk U pipa kondensator. Refrigeran yang dipilih pada mesin *ice flake 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) Pipa Kapiler

Pemilihan pipa kapiler yang meliputi panjang dan diameternya ini menggunakan software aplikasi Dan Cap™ yaitu *Danfoss Capillary Tube Selector Version 1.0*. Adapun data yang harus dimasukkan agar kita mendapatkan rekomendasi pemilihan pipa kapiler adalah data:

1. Beban pendingin total sistem
2. Temperatur evaporasi
3. Temperatur kondensasi
4. Temperatur gas balik (*Suction line* pada tabel 3.9 titik ke 8)



Gambar 9. Input data pada aplikasi *Danfoss Capillary Tube selector*

Adapun panjang dan diameter pipa yang direkomendasikan dengan beban total 569 watt,

temperatur evaporasi serta kondensasi sebesar -16 °C dan 40 °C. Dengan temperatur gas yang kembali ke kompresor -27 °C adalah 2,02 m dengan diameter 0,31 inch. Untuk data lebih jelas lihat lampiran rekomendasi pemilihan pipa kapiler.

4) Evaporator

Pemilihan evaporator mesin *ice flake maker* ini menggunakan evaporator melingkar di karnakan ruangan pendingin pada mesin tersebut itu berbentuk lingkaran dengan dimensi volume tabung dengan Diameter tabung 11 cm, tinggi tabung 38 cm dan jari-jarinya 5,5 cm dan untuk panjang pipanya itu adalah 7 m

4.5 Desain Termal

Adapun desain termal yang direncanakan sesuai dengan perencanaan sebelumnya dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Spesifikasi perencanaan desain termal mesin *ice flake maker*

Perencanaan	Spesifikasi	Satuan
Suhu kabin	25	°C
Suhu evaporasi	-16	°C
Suhu kondensasi	40	°C
Efek refrigerasi	132	kJ/kg
Laju aliran massa	0,00039	kg/s
Daya kompresor	0,237	Kw
Perencanaan	Spesifikasi	Satuan
Kerja kompresi	61	kJ/kg
Pelepasan kalor	193	kJ/kg
COP _a	2,1	-
COP _c	4,5	-
Efisiensi	64	%

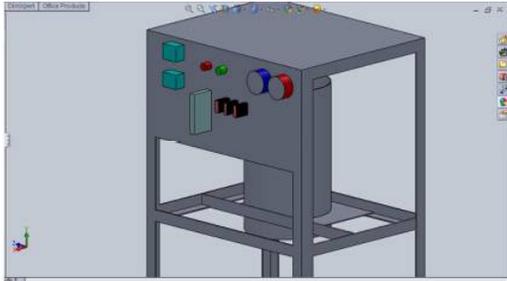
4.6. Perencanaan Mesin Ice Flake Maker Menggunakan Aplikasi SolidWorks



Gambar 10 Tampak Depan Mesin *Ice Flake Maker*



Gambar 11 Tampak Samping Mesin *Ice Flake Maker*



Gambar 12 Tampak Atas Mesin *Ice Flake Maker*

4.7. Gambar Mesin *Ice Flake Maker* Nyata yang ada dilapangan Setelah dilakukan Perakitan



Gambar 13 Tampak Depan Mesin *Ice Flake Maker*



Gambar 13 Tampak Belakang Mesin *Ice Flake Maker*



Gambar 14 Tampak Samping Mesin *Ice Flake Maker*

5) Kesimpulan

Setelah melakukan rancang bangun *ice flake maker*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Beban total pendingin perencanaan adalah 569 watt
- 2) Total biaya perakitan adalah Rp 2.619.500
- 3) Langkah-langka rancang bangun seperti menghitung total beban pendingin, langkah-langka perakitan serta menghitung total beban Transmisi, Infiltrasi, dan Beban Produk
- 4) COP perencanaan pada kapasitas 1 liter adalah, 2,1 sedangkan COP hasil pengujian adalah 3,51

DAFTAR PUSTAKA.

ASHRAE 2001. *ASHRAE Handbook Fundamentals Air Conditioning*. American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning

ASHRAE 2005. *Chapter-19 Refrigerants*. American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning

ASHRAE 2006. *Chapter-9 Thermal Properties of Food*

Dossat, R.J. 1982. *The Effect Of Air Circulation On Product Condition.*, McGraw-Hill : New York.

Moran, M.J., Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition (Moran & Shapiro)*, England.

Stoecker W.F., Jones J.W., 2001. *Refrigeration And Air Conditioning*, McGraw-Hill, New York.