

RANCANG BANGUN MESIN *SHOWCASE* BUAH

Ferry Irawan¹, Trianto Wibowo¹

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

E-mail: *ferry.irawan_mail@yahoo.com*

ABSTRAK

Rancang Bangun *Showcase* Buah merupakan perencanaan dan pembuatan mesin pendingin yang digunakan sebagai alat penyimpanan buah yang bertujuan untuk menjaga kondisi buah agar tetap dalam kondisi yang segar. Metode yang digunakan meliputi 5 tahap yaitu perencanaan, pemilihan komponen, perencanaan biaya, perakitan, dan pengujian mesin *showcase* buah. 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 rancang bangun ini dititik beratkan untuk pembelian komponen dan proses perakitan. Perakitan mesin *showcase* buah memiliki tiga tahap yaitu perakitan kerangka, body dan pemipaan. Beban yang digunakan adalah buah (5 macam buah) dengan berat 38 kg. Kemudian data dianalisis menggunakan aplikasi *Cool Pack* dan diagram untuk mendapatkan nilai entalpi. Setelah itu dihitung kembali untuk mendapatkan nilai COP. Berdasarkan seluruh proses penelitian dapat disimpulkan bahwa komponen utama terdiri dari kompresor dengan spesifikasi 95 watt, evaporator dengan dimensi 6000 cm², pipa kapiler berdiameter 0,044 inch dengan panjang 1,99 meter dan kondensor berdimensi 8000 cm². Beban total pendingin perencanaan adalah 266,75 watt, total biaya perakitan adalah Rp 2.258.000, dan COP Perencanaan adalah 2,8.

Kata kunci: *Rancang Bangun, Showcase Buah, COP*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu Teknik Pendingin dan Tata Udara saat ini merupakan aspek kerja yang memiliki peluang kerjanya masih sangat mendukung. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat mendorong manusia untuk melakukan penemuan - penemuan yang sifatnya bermanfaat bagi kelangsungan hidup, seperti halnya teknik pendingin yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan sehari - hari. Apalagi mesin pendingin yang digunakan kini tidak asing lagi bagi semua orang terutama di Indonesia yang kini semua masyarakat umum sudah memakai atau menggunakan mesin pendingin itu sendiri, salah satunya mesin pendingin untuk penyimpanan buah.

Umumnya buah yang baru saja dipetik harus didinginkan pada suhu dibawah 15 °C agar buah tidak cepat membusuk, karena meskipun sudah dipetik atau dipanen buah akan tetap melakukan respirasi. Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperpanjang masa hidup jaringan - jaringan dalam buah karena aktivitas respirasi menurun dan menghambat aktivitas mikroorganisme. Penyimpanan dingin tidak membunuh mikroba, tetapi hanya menghambat aktivitasnya, oleh karena itu setiap bahan pangan yang akan didinginkan harus dibersihkan lebih dahulu.

Menjaga kualitas produk yakni menjadi tujuan utama dalam merancang mesin *Showcase* Buah ini, karena harus dibutuhkan perhitungan dan perencanaan yang efektif. Rancang Bangun *Showcase* Buah merupakan perencanaan dan

pembuatan suatu alat pendingin buah yang bertujuan untuk menjaga kondisi buah agar tetap dalam kondisi yang segar.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Merancang dan mengaplikasikan *Showcase* Buah.
2. Untuk mengetahui total beban pendingin mesin *Showcase* Buah.
3. Dapat mengetahui nilai COP perancangan dan pengujian mesin *Showcase* Buah.

2. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

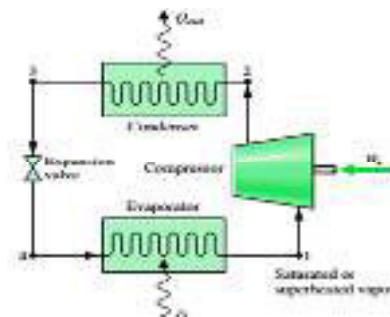
2.1 Refrigerasi

Refrigerasi adalah proses pelepasan kalor dari tempat yang tidak diinginkan. Kalor yang diambil dari makanan bertujuan untuk menjaga kualitas dan cita rasa makan tersebut. Sedangkan kalor yang diambil dari suatu ruangan bertujuan untuk menjaga kenyamanan manusia didalamnya. Banyak sekali penerapannya didalam dunia industri dimana kalor yang telah dilepas dari beberapa tempat atau material untuk tujuan yang diinginkan (Miller, R. 2009. Hal : 50).

2.2 Siklus Kompresi Uap

Siklus Kompresi Uap merupakan jenis refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Susunan

empat komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 1 Diagram Proses Siklus Kompresi Uap
(Moran, M., J, Saphiro, H., N, 2006)

2.3 Perencanaan *Showcase* Buah

2.3.1 Beban Pendingin

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

a. Beban Kalor Transmisi

Beban kalor transmisi adalah beban kalor yang merambat melalui dinding. Menurut buku ASHRAE (2006), dapat di cari menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

Q_h = Laju aliran kalor transmisi (W)

U = Koefisien perpindahan kalor ($W/m^2.K$)

A = Luas permukaan benda (m^2)

Δt = Perbedaan temperatur ($^{\circ}K$)

Untuk mencari nilai Koefisien perpindahan kalor :

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

Keterangan :

K = Konduktivitas thermal material ($W/m^2.K$)

h_1 = Koefisien konveksi permukaan udara dalam

($W/m^2.K$)

h_0 = Koefisien konveksi permukaan udara luar

($W/m^2.K$)

x = Ketebalan material atau bahan (m)

b. Beban Kalor dari Produk

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

Kalor yang dilepaskan untuk mengurangi temperatur produk akibat produk tersebut disimpan dalam temperatur penyimpanan.

Kalor yang dikeluarkan oleh produk dalam penyimpanan. Hal ini terjadi karena peleburan kalor laten dari produk. Produk yang dimasukkan dalam ruangan kabin penyimpanan. Jika produk mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur ruang kabin penyimpanan maka akan melepaskan kalor sampai temperatur sama dengan temperatur ruangan kabin penyimpanan.

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

1. Panas yang dilepaskan dari temeperatur awal ke temperature dingin (diatas titik beku produk) sebagai berikut :
 $Q_1 = m.c_1 (T_1 - T_2)$
2. Panas yang dilepaskan dari temperatur dingin produk ke titik beku produk ($Q_{sensible}$) adalah sebagai berikut :
 $Q_2 = m.c_1 (T_2 - T_f)$
3. Panas yang dilepaskan untuk membekukan produk (Q_{latent}) adalah :
 $Q_3 = m.h_{if}$
4. Panas yang dilepaskan dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan sebagai berikut

$$Q_4 = m.c_2 (T_f - T_3)$$

Keterangan :

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 = Panas yang dilepas (kJ)

m = massa produk (kg)

c_1 = *Specific heat of product above freezing* (kJ/kg.K)

c_2 = *Specific heat of product below freezing* (kJ/kg.K)

T_1 = *Initial temperature of product above freezing* ($^{\circ}C$)

T_2 = *Lower temperature of product above freezing* ($^{\circ}C$)

T_3 = *Final temperature of product below freezing* ($^{\circ}C$)

T_f = *Freezing temperature of product* ($^{\circ}C$)

h_{if} = *Latent heat fusion of product* (kJ/kg)

$$q = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{3600 n}$$

Keterangan :

q = beban pendinginan rata-rata, kW

n = waktu yang ditentukan, h

c. Beban Infiltrasi

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

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

Keterangan :

Q_t = Beban refrigerasi (kW)

q = Beban sensible dan latent refrigerasi (kW)

Dt = Doorway open-time factor
 Df = Doorway flow factor
 E = Effectiveness of doorway protective device

$$Dt = \frac{(P \cdot \theta_p) + (60 \cdot \theta)}{60 \text{ min} \times \theta_d}$$

Keterangan :

P = Jumlah pintu
 θ_p = Lamanya pintu terbuka-tertutup (s)
 θ = Waktu pintu terbuka (menit)
 θ_d = Lama pintu digunakan dalam sehari (jam)

$$q = 0.221A(h_i - h_r)pr(1 - \rho_i/\rho_r)0.5(gH)0.5F_m$$

Keterangan :

q = Beban pendinginan yang masuk dan laten(kW)
 A = Luas pintu (m²)
 h_i = Entalpi udara infiltrasi (kJ/kg)
 h_r = Entalpi udara yang didinginkan (kJ/kg)
 ρ_i = Densitas udara infiltrasi (kg/m³)
 ρ_r = Densitas udara yang didinginkan (kg/m³)
 g = konstanta gravitasi = 9,81 m/s²
 H = tinggi pintu (m)
 F_m = faktor kepadatan
 $F_m = \left[\frac{2}{1 + (\rho_r/\rho_i)^{1/3}} \right]^{1.5}$

D_f = rasio pertukaran aliran udara aktual yang mapan. Aliran yang mapan hanya terjadi di tempat yang tidak biasa. Kasus pintu yang tidak terpakai berdiri terbuka ke ruangan besar atau di luar rumah, dan di mana arus keluar yang dingin tidak terhambat oleh penghalang. (mis., palet susun atau di sebelah jalur arus atau di luar ruang dingin). Dengan kondisi ini, D_f adalah 1.0.

E = Efektivitas dari perangkat pelindung pintu terbuka adalah 0,95 atau lebih tinggi untuk strip yang baru dipasang, fast-fold, dan non-tight-closing pintu lainnya. Namun, tergantung tingkat trafik dan perawatan pintu, E dapat dengan cepat turun menjadi 0,8 pada pintu freezer dan sekitar 0,85 untuk pintu lain Vestibulum Airlock dengan strip atau pintu push-through memiliki keefektifan berkisar antara 0,95 dan 0,85 untuk freezer dan antara 0,95 dan 0,90 untuk pintu lain. Efektivitas udara gorden berkisar dari yang sangat miskin hingga lebih dari 0,7. Untuk terbuka lebar pintu tanpa perangkat, E = 0 dalam Persamaan (11). E = 0,95

d. 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, 1981,) 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* = $Q_{\text{Transmisi}} + Q_{\text{Infiltrasi}} + Q_{\text{Produk}} + 10\%$

2.3.2 Pemilihan Komponen

a. Kompresor

Dalam konsep rancang bangun *showcase* buah, komponen yang dipilih tidak boleh lebih rendah dari kapasitas yang direncanakan. Karena komponen – komponen refrigrasi yang digunakan tidak boleh bekerja terlalu berat, untuk menentukan komponen kompresor. Maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : (Moran dan Shapiro, 2006).

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

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

Keterangan :

$\dot{W}_k$ = Daya kompresor (kJ/s)

$\dot{m}$ = Laju aliran refrigerant (Kg/s)

Q_{in} = Jumlah kalor yang diserap evaporator(W)

ER = Dampak refrigrasi ($h_1 - h_4$) (kJ/kg)

h_2 = *Enthalpy* pada titik 2 (kJ/kg)

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

b. Kondensor

Untuk menentukan berapa kapasitas kondensor yang dijual di pasaran adalah sebagai berikut : (*Australian Refrigeration & Air Conditioning Vol 1* 2002 hal. 4.26)

$$Q_h = A \cdot U \cdot TD$$

Keterangan :

Q_h = Besarnya beban kondensor (W)

A = Luas area (m²)

U = *Heat transfer coefficients* (W/m².K)

TD = Beda temperatur antara kabin dan lingkungan (K)

c. Pipa Kapiler

Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan jenis refrigeran, kapasitas pendinginan, temperatur evaporasi, temperatur kondensasi dan *suction* temperatur yang direncanakan. Untuk menentukan komponen pipa kapiler kali ini menggunakan *software DanCap (Danfoss Capillary Tube Selector)* dengan memasukan data sesuai perintah pada *software* seperti : *Refrigerant, Heat load of system, Evaporating temperature, Condensing temperature*, dan *Return gas temperature*. Setelah memasukan data pada perencanaan tersebut maka akan muncul rekomendasi panjang dan diameter pipa kapiler yang akan digunakan.

d. Evaporator

Untuk menentukan berapa kapasitas evaporator yang dijual di pasaran adalah sebagai berikut : (*Australian Refrigeration & Air Conditioning Vol 1* 2002 hal. 4.26)

$$Q_h = A \cdot U \cdot TD$$

Keterangan :

Q_h = Besarnya beban evaporator (W)

A = Luas area (m²)

U = *Heat transfer coefficients* (W/m².K)

TD = Beda temperatur antara kabin dan lingkungan (K)

2.4 Komponen *Showcase Buah*

2.4.1 Komponen Refrigerasi

a. Kompresor

Kompresor adalah jantung dari sistem refrigerasi. Gunanya untuk menghisap gas tekanan rendah dan suhu terendah dari evaporator dan kemudian menekan atau memampatkan gas tersebut, sehingga menjadi gas dengan tekanan dan suhu tinggi, lalu dialirkan ke kondensor. (Whitman, Bill. 2009, hal. 448) Jadi kerja kompresor adalah untuk:

1. Menurunkan tekanan di evaporator, sehingga bahan pendingin cair di evaporator dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap lebih banyak panas dari sekitarnya.
2. Menghisap gas bahan pendingin dari evaporator, lalu menaikkan tekanan dan suhu gas bahan pendingin tersebut, dan mengalirkannya ke kondensor sehingga gas tersebut dapat mengembun dan memberikan panasnya pada medium yang mendinginkan kondensor.

Kompresor yang terdapat pada simulasi mesin refrigersi adalah jenis kompresor *hermetic*. Pada dasarnya, kompresor *hermetic* hampir sama dengan semi-hermetik, perbedaannya hanya terletak pada cara penyambungan rumah (baja) kompresor dengan stator motor penggerakannya. Pada kompresor hermetik dipergunakan sambungan las sehingga rapat udara. Pada kompresor semi-hermetik dengan rumah terbuat dari besi tuang, bagian-bagian penutup dan penyambungannya masih dapat dibuka. Sebaliknya dengan kompresor hermetik, rumah kompresor dibuat dari baja dengan pengerjaan las, sehingga baik kompresor maupun motor listriknya tak dapat diperiksa tanpa memotong rumah kompresor.



Gambar 2. Kompresor hermetik

2) Kondensor

Kondensor adalah suatu alat penukar kalor yang sama dengan evaporator, cara kerjanya dengan melepas kalor yang diserap evaporator. (Whitman, Bill. 2009, hal. 420) Bahan pendingin dari kompresor dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke udara. Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair.



Gambar 3. Kondensor

Kondensor yang terdapat pada pompa kalor adalah jenis kondensor dengan berpendingin udara. Udara yang mendinginkan kondensor dapat mengalir karena aliran udara secara alamiah atau aliran udara yang ditiupkan oleh fan motor. Mesin refrigerasi yang kecil seperti lemari es memakai kondensor dengan pendinginan udara secara alamiah yang disebut dengan kondensor statis. Sedangkan lemari es yang lebih besar dan berbagai jenis mesin refrigerasi seperti AC *window*, AC *split* dan sebagainya menggunakan kondensor dengan *fan motor*. *Fan motor* dapat meniupkan udara ke arah kondensor dalam jumlah yang lebih besar sehingga kapasitas kondensor bertambah.

3) Evaporator

Sebuah evaporator dalam sistem refrigerasi yang responsive untuk penyerapan kalor ke sistem biasa menjadi dingin. (Whitman, Bill. 2009, hal. 402). Pada prinsipnya perpindahan panas yang terjadi dalam evaporator sama dengan perpindahan panas yang terjadi pada kondensor. Hanya saja di dalam kondensor, panas dilepas atau dibuang oleh refrigeran ke media pendingin kondensor sedangkan di dalam evaporator kalor diserap oleh refrigeran dari media yang didinginkan.



Gambar 4. Evaporator

4) Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah salah satu alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu untuk menurunkan tekanan refrigeran sebelum masuk ke evaporator dan untuk mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Cairan refrigeran memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang akibat dari gesekan dan percepatan refrigeran. Pipa kapiler hampir melayani semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil, dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10 kw. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 meter, dengan diameter dalam 0,5 sampai 2 mm (Stoecker, 1982). Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigeran dari mesin refrigerasi yang bersangkutan.



Gambar 5. Pipa Kapiler

3. Bahan dan Metodologi Perencanaan

3.1 Tempat Perencanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium sistem refrigerasi dan tata udara Politeknik Sekayu. Waktu penelitian adalah bulan mei Penelitian dilakukan sebanyak beberapa kali guna penyusunan penelitian.:

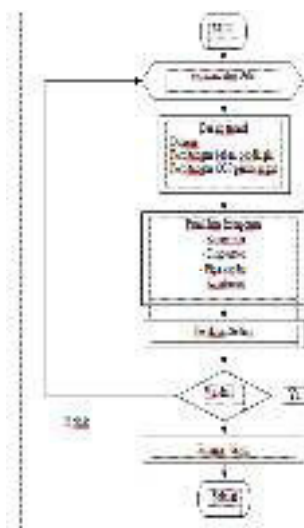
Waktu	07:00 sd 16:00
Tanggal	April 2018 – Juli 2018
Alamat	Jl.Kol.Wahid Udin, Lk.I Kelurahan Kayuara, Sekayu – Musi Banyuasin.
Tempat	Laboratorium Mekanik Politeknik Sekayu.

3.2 Alat Dan Bahan

Dalam melaksanakan pembuatan alat, maka yang diperlukan alat dan bahan sebagai berikut :

3. Alat : Las oxy-asetylene, mesin las listrik, mesin gerinda, obeng, gergaji besi, gunting seng, mistar siku, tang kombinasi, bor, *flaring and swaging tool*, *tubing cutter*, *manifold*, pompa vakum, tang amper, test pen, kikir, kaca mat alas.
4. Bahan : kompresor 1/8 hp, pipa 1/4", strainer drier, kaca, thermostat, pipa kapiler 0,31 mm, besi siku, perak, elektroda, kondensor, lem kaca, ban roda, evaporator, high pressure gauge, low pressure gauge, MCB, lampu indicator, kabel, erlay, saklar, sekrup, polyurethane, fan, pipa 3/16",
5. *Refrigerant* R134a

3.3 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 6. Diagram Alir Perencanaan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengumpulan Data Rancang Bangun

Showcase

Showcase Buah ini dibuat untuk proses penyimpanan buahan dengan kapasitas 38 Kg yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- a) Dimensi ruang penyimpanan *showcase* buah dengan panjang 0,4 m, lebar 0,44 m, tinggi

0,6 m, dengan volume ruang sebesar 0,1056 m³.

- b) Suhu evaporator yang direncanakan -4 °C.
- c) Suhu ruangan yang direncanakan 2 °C.
- d) Suhu kondensasi 44 °C.
- e) Suhu lingkungan 30 °C.

4.2 Data Jenis Material Rancang Bangun

Showcase

Tabel 1 Material Konduktivitas Termal (MJ.Moran And H.N Shapiro. (2006))

No	Nama Bahan	Tebal (m)	Konduktivitas termal (W/m.K)
1.	Kaca	0,006	1,4
2.	Besi	0,001	80,2
3.	Polystyrene	0,04	0,027
4.	Alumunium	0,0005	237

- a. Ruang Penyimpanan / kabin

Jadi volume ruang penyimpanan adalah sebagai berikut :

Penyelesaian:

Panjang = 0,4 m

Lebar = 0,44 m

Tinggi = 0,60 m

$P \times L \times T = 0,4 \text{ m} \times 0,44 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 0,1056 \text{ m}^3$

Volume buahan 1/3 dari volume penyimpanan / kabin = 0.0352 m³

- b. Kapasitas Penyimpanan

Volume penyimpanan buah = 0.0352 m³

Berat jenis buah dari rata – rata = 1081,5 kg/m³

Penyelesaian :

Kapasitas Produk = 0.052 m³ x 1081,5 kg/m³ = 38 kg

4.2 Perhitungan Beban Pendingin

a. Beban Kalor Transmisi

Diketahui :

Temperatur lingkungan (t_o) = 30 °C

Temperatur penyimpanan (t_i) = 2 °C

Nilai h_i dan h_o = 1,6 W/m.K (Chapter 13 Refrigeration Load)

$\Delta T = 303,15 \text{ K} - 275,15 \text{ K} = 28 \text{ K}$

$Q = U.A.\Delta T$

- Nilai U untuk material kaca :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,006}{1,4} + \frac{1}{1,6}} \\
 &= \frac{1}{0,625 + 0,0042 + 0,625} \\
 &= \frac{1}{1,254} \\
 &= 0,797 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- Nilai U untuk material Besi, Polystyrene, Aluminium,;

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

$$= \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,001}{80,2} + \frac{0,04}{0,027} + \frac{0,0005}{237} + \frac{1}{1,6}}$$

$$= \frac{1}{0,625 + 0,0000124 + 1,48 + 0,0000021 + 0,625}$$

$$= \frac{1}{2,73}$$

$$= 0,366 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Luas dinding sisi depan sama dengan dinding sisi belakang :

$$A_{DB} = P \times T$$

$$= 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$$

$$= 0,24 \text{ m}^2$$

- Luas dinding sisi kiri sama dengan dinding sisi kanan :

$$A_{KK} = L \times T$$

$$= 0,44 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$$

$$= 0,264 \text{ m}^2$$

- Luas sisi lantai sama dengan sisi atap :

$$A_{LP} = P \times L$$

$$= 0,4 \text{ m} \times 0,44 \text{ m}$$

$$= 0,176 \text{ m}^2$$

Penyelesaian:

1. Beban kalor transmisi melalui dinding sisi depan / pintu:

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

$$= 0,797 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,24 \text{ m}^2 \cdot 28 \text{ K}$$

$$= 5,35 \text{ W}$$

2. Beban kalor transmisi melalui dinding sisi belakang:

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

$$= 0,366 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,24 \text{ m}^2 \cdot 28 \text{ K}$$

$$= 2,45 \text{ W}$$

3. Beban kalor transmisi melalui dinding sisi kanan sama dengan dinding sisi kiri:

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

$$= 0,366 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,264 \text{ m}^2 \cdot 28 \text{ K}$$

$$= 2,7 \text{ W}$$

Jadi, Q dinding sisi kanan + Q dinding sisi kiri = 5,4 W

4. Beban kalor transmisi melalui sisi bawah sama dengan sisi atas :

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

$$= 0,366 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,176 \text{ m}^2 \cdot 28 \text{ K}$$

$$= 1,8 \text{ W}$$

Jadi, Q dinding sisi bawah + Q dinding sisi atas = 3,6 W

Q_{total transmisi}
 = Q_{dinding atas & bawah} + Q_{dinding kiri & kanan} + Q_{belakang} + Q_{pintu / depan}

$$= 3,6 \text{ W} + 5,4 \text{ W} + 2,4 \text{ W} + 5,3 \text{ W}$$

$$= 16,7 \text{ W}$$

b. Beban Produk

Diketahui :

Temperatur lingkungan = 30 °C

Massa produk yang direncanakan 38 kg

Temperatur penyimpanan = 2 °C

$$\Delta T = 303,15 \text{ K} - 275,15 \text{ K} = 28 \text{ K}$$

Table 2 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods* (Continued)

Buah	Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
Apel	-1,1	3,81	1,98	280
Pisang	-0,8	3,56	2,03	248
Nanas	-1,0	3,85	4,91	289
Semangka	-0,4	3,97	1,74	306
Jeruk	-0,8	3,81	1,96	275
Rata – rata	-0,82	3,8	1,92	279,6

Beban kalor yang dilepaskan dari temperatur awal ke temperatur dingin yaitu (persamaan 2.6) :

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

$$Q_1 = 38 \text{ (Kg)} \cdot 3,8 \text{ (kJ/Kg.K)} \cdot (28) \text{ (K)}$$

$$= 4043,2 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 4043,2 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = \left| \frac{Q_1}{8 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}} \right| = \frac{4043,2}{8 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}} = 0,140 \text{ kJ/s}$$

atau 0,140 kW

c. Beban Udara Infiltrasi

Diketahui :

- Suhu Refrigerasi

$$T_{WB} = -4,5 \text{ °C}$$

$$T_{DB} = -2,82 \text{ °C}$$

$$h_r = 3 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho_r = 1/v_r = 1/0,77 \text{ m}^3/\text{kg} = 1,298 \text{ kg/m}^3$$

- Suhu Infiltrasi

$$T_{WB} = 28 \text{ °C}$$

$$T_{DB} = 30 \text{ °C}$$

$$h_i = 89,64 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho_i = 1/v_i = 1/0,891 \text{ m}^3/\text{kg} = 1,122 \text{ kg/m}^3$$

- $A = p \times t = 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,24 \text{ m}^2$

- $H = t = 0,6 \text{ m}$

- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_r}{\rho_i} \right)^{1/3}} \right]^{1,5}$$

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{1,298 \text{ kg/m}^3}{1,122 \text{ kg/m}^3} \right)^{1/3}} \right]^{1,5}$$

$$F_m = \left[\frac{2}{2,0445} \right]^{1,5} = 0,9675$$

- $F_m = 0,9675$

$$\begin{aligned}
 q &= 0,221 A (h_i - h_r) \rho_r (1 - \rho_i / \rho_r)^{0,5} (g H)^{0,5} F_m \\
 q &= 0,221 \cdot 0,24 \text{ m}^2 (89,64 \text{ kJ/kg} - 3 \text{ kJ/kg}) \\
 &\quad 1,29 \text{ kg/m}^3 (1 - \frac{1,12 \text{ kg/m}^3}{1,29 \text{ kg/m}^3})^{0,5} (9,8 \text{ m/s}^2 \cdot \\
 &\quad 0,74 \text{ m})^{0,5} 0,9675 \\
 &= 0,053 \text{ m}^2 (86,64 \text{ kJ/kg}) 1,29 \text{ kg/m}^3 (0,37) \\
 &\quad (2,69 \text{ m/s}) 0,9675 \\
 &= 5,70 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

- D_t = Porsi desimal dari pintu waktu terbuka
- P = Jumlah pintu
 - θ_p = Waktu pintu buka-tutup, s/passage
 - θ_o = Waktu pintu terbuka, min
 - θ_d = Waktu buka-tutup pintu dalam sehari, hr

$$e. P = 1$$

$$f. \theta_p = 10 \text{ s}$$

$$g. \theta_o = 1,5 \text{ min}$$

$$h. \theta_d = 8 \text{ hr}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } D_t &= \frac{(P \cdot \theta_p + 60 \cdot \theta_o)}{3600 \cdot \theta_d} \\
 D_t &= \frac{(1 \cdot 10 \text{ s} + 60 \cdot 1,5 \text{ min})}{60 \cdot 8 \text{ hr}} \\
 D_t &= \frac{(10 \text{ s} + 90 \text{ min})}{480} \\
 D_t &= 0,208
 \end{aligned}$$

$$\text{➤ } D_f = 0,8$$

$$\text{➤ } E = 0,95$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{infiltrasi}} &= q \cdot D_t \cdot D_f (1 - E) \\
 &= 5,70 \text{ kW} \cdot 0,208 \cdot 0,8 (1 - 0,95) \\
 &= 0,948 \text{ kW} (0,05) \\
 &= 0,047 \text{ kW} \\
 &= 47 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Safety Factor

$$\begin{aligned}
 SF &= 10 \% (Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{lampu}} + \\
 &\quad Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{fan}}) / 100 \\
 &= 10 (16,7 \text{ W} + 140 \text{ W} + 8 \text{ W} + 47 \text{ W} \\
 &\quad + 30,8 \text{ W}) / 100 \\
 &= 10 (242,5) / 100 \\
 &= 2425 / 100 \\
 &= 24,25 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

d. Total Beban Pendingin

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{lampu}} + \\
 &\quad Q_{\text{fan}} + SF \\
 &= 16,7 \text{ W} + 47 \text{ W} + 140 \text{ W} + 8 \text{ W} + 30,8 \\
 &\quad \text{W} + 24,25 \text{ W} \\
 &= 266,75 \text{ W} \\
 &= 0,26675 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Temperatur Suction Saturasi Dan Kondensasi

1. Temperatur Suction Saturasi (Evaporasi)

Tabel 3. Evaporasi temperature (Australian Refrigeration and Air Conditioning Vol 1)

Type of product stored	Storage temp. °C	Volume and H.E.	Formula	Value
Ice cream (vanilla)	-10 °C	90 m³	8 m³	10 m³
Ice	-10 °C	80 m³	8 m³	10 m³
Cheese (cheddar)	-10 °C	80 m³	8 m³	10 m³
Chicken (chicken)	-10 °C	80 m³	8 m³	10 m³
Meat (beef)	-10 °C	80 m³	8 m³	10 m³
Vegetables	-10 °C	80 m³	8 m³	10 m³

1. Temperatur penyimpanan = -4°C
2. Temperature Difference = 6 K
3. Refrigerant Temperature = Room Temp.
- Temp. Difference = $275,15 \text{ K} - 6 \text{ K}$
 $= 269,15 \text{ K} = -4^{\circ}\text{C}$

Tekanan suction Refrigeran R-134a pada saat suhu -4°C = 2.527 bar

Jadi, temperature evaporasi = -4°C

Tekanan 2.527 bar didapat dari tabel saturasi dari software coolpack..

2. Temperatur Kondensasi

Tabel 4 Condensing Temperature (Australian Refrigeration and Air Conditioning vol 1)



1. Temperatur Evaporasi = -4°C
2. Temperatur Lingkungan = 30°C
3. Beda Temperatur = 14°C
4. (Didapat dari tabel AUSTRALIAN AND AIR CONDITIONING VOLUME 1)
5. Temperatur Kondensasi
= Temp. Lingkungan + Beda Temperatur
= $30^{\circ}\text{C} + 14^{\circ}\text{C}$
= 44°C

Tekanan R-134a pada suhu 44°C = 11,299 bar

Jadi, temperatur kondensasi = 44°C

Tekanan 11,299 bar didapat dari tabel saturasi dari software coolpack.

P-H Diagram

Setelah mengetahui temperatur evaporasi dan kondensasi, selanjutnya perhitungan p-h diagram dengan menggunakan temperatur dan tekanan evaporasi dan kondensasi. Pada perhitungan p-h diagram kali ini menggunakan software coolpack.

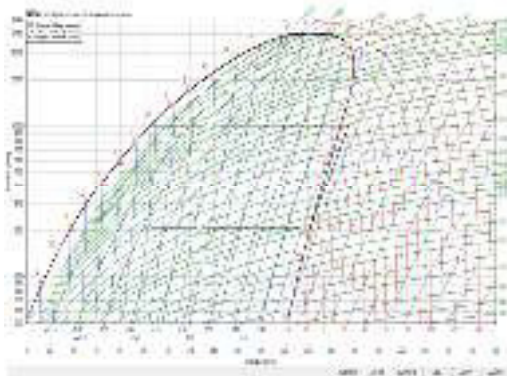
Diketahui :

Temperatur evaporasi = -4°C (P = 2,527 bar)

Temperatur kondensasi = 44°C (P = 11,299 bar)

Temperatur evaporasi dan kondensasi didapat setelah melakukan perhitungan dan tekanan didapat dari software coolpack.

a. P-H Diagram



Gambar 7. P-H Diagram

Tahap ini merupakan tahap lanjutan dari *cycle specification*, dimana setelah meng *input* data perencanaan pada tahap *cycle specification* akan muncul P-H Diagram dan nilai COP untuk perencanaan sesuai dengan data yang di *input*. *Pressure drop* pada kondensor (titik 2 dan 3) dan evaporator (titik 7 dan 8), terjadi karena uap *refrigerant* masuk ke ruang yang lebih besar, adanya *losses* akibat belokan, gesekan antara fluida dan dinding pipa, kebocoran, atau isolasi yang kurang baik pada saluran atau pompa sehingga proses tidak isobarik tekanan tidak konstan. (Refrigerasi dan Pengkondisian Udara W.F.Stoecker, 1992 : 191)

b. State point

Point	T (°C)	P (kPa)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)
1	-4.18	201	244.901	0.905
2	46.364	11205	275.873	0.3013
3	46.364	11205	275.873	0.3013
4	46.364	11205	275.873	0.3013
5	112.218	201	112.218	0.905
6	-4.18	201	244.901	0.905
7	112.218	11205	112.218	0.905

Gambar 8. state point

Pada *state point*, nilai – nilai seperti : *temperature*, *enthalpy*, *pressure* and *density* semuanya tersedia pada tabel *state point*. Masing – masing penomoran pada tabel *state point* dapat dilihat dari gambar P-H Diagram sebelumnya. Sehingga didapat data sebagai berikut :
 $h_1 = 244,901$ kJ/kg yaitu *enthalpy* pada titik 1 pada *state point* pada diagram p-h
 $h_{2s} = 275,873$ kJ/kg yaitu *enthalpy* pada titik 3 pada *state point* pada diagram p-h
 $h_3/h_4 = 112,218$ kJ/kg yaitu *enthalpy* pada titik 4 dan 5 pada *state point* pada diagram p-h

4.4.1 Coefficiene of Performance

Pada penelitian mesin *Showcase* Buah kapasitas 38 kg menggunakan refrigerant R-134a dimana temperatur evaporasi yang direncanakan -4 °C dan temperatur kondensasinya sebesar 44 °C. Untuk dapat mengetahui nilai COP diperlukan data-data yang mendekati dari tabel berikut :

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

a. Nilai h_2

Untuk mencari nilai h_2 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{275,873 - 244,901}{h_2 - 244,901} \\ 0,65 &= \frac{30,97}{h_2 - 244,901} \\ h_2 - 244,901 &= \frac{30,97}{0,65} \\ h_2 - 244,901 &= 47,64 \\ h_2 &= 47,64 + 244,901 \\ h_2 &= 292,541 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

b. Refrigeration Effect

Maka efek refrigerasi atau efek pendinginan yang dihasilkan evaporator pada *showcase* buahan kentang ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{refrigeration effect} &= (h_1 - h_4) \\ &= (244,901 \text{ kJ/Kg} - 112,218 \text{ kJ/Kg}) \\ &= 132,683 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

c. Laju Aliran Massa

Diketahui :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{Q_{in}}{\text{refrigeration effect}} \\ \dot{m} &= \frac{Q_{in}}{h_1 - h_4} \\ \dot{m} &= \frac{0,26675 \text{ kJ/s}}{132,683 \text{ kJ/Kg}} \\ &= 0,0020 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

d. Kerja Kompresi dan Daya Kompresor

Kerja kompresi yang harus dilakukan oleh kompresor *showcase* buahan ini dapat kita ketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kerja kompresi} &= (h_2 - h_1) \\ &= (292,541 \text{ kJ/Kg} - 244,901 \text{ kJ/Kg}) \\ &= 47,64 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_k &= \dot{m} (h_2 - h_1) \\ &= 0,0020 \text{ kg/s} (292,541 \text{ kJ/Kg} - 244,901 \text{ kJ/Kg}) \\ &= 0,095 \text{ kW} \\ &= 95 \text{ watt} \end{aligned}$$

e. Pelepasan Kalor dan Daya Kondensor

$$\begin{aligned} \text{Pelepasan Kalor} &= (h_2 - h_3) \\ &= (292,541 - 112,218) \\ &= 180,323 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan diatas maka nilai COP didapat sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,26675 \text{ kJ/s}}{0,095 \text{ kJ/s}} \\
 &= 2,8 \\
 \text{COPc} &= \frac{\text{Tevaporasi} + 273}{Q_{\text{kondensor}} - \text{Tevaporasi}} \\
 &= \frac{44 - (-4)}{269} \\
 &= \frac{48}{269} \\
 &= 5,6 \\
 \text{Efisiensi} &= \frac{\text{COP}}{\text{COPc}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,8}{5,6} \times 100\% \\
 &= 0,5 \times 100\% \\
 &= 48,2\%
 \end{aligned}$$

4.4.2 Penentuan Komponen Refrigerasi

a. Kompresor

1 PK = 746 watt

½ PK = 373 watt

¼ PK = 186 watt

1/8 PK = 93 watt (yang mendekati spesifikasi perencanaan)

Jadi dipilih kompresor dengan spesifikasi 1/8 PK yang lebih mendekati perencanaan.

b. Evaporator

Pemilihan evaporator menggunakan persamaan

:

$$\begin{aligned}
 Q_h &= U \times A \times \Delta T \\
 Q_h &= 266,75 \text{ watt (beban total)} \\
 U_{\text{evap}} &= 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \\
 \Delta T &= 28 \text{ K} \\
 A &= \text{Dimensi luas bagian permukaan evaporator.}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi evaporator yang dibutuhkan yaitu :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q_h}{U \times \Delta T} \\
 &= \frac{266,75}{15 \times 28} = 0,6 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

c. Pipa Kapiler



Gambar 9 Input data pada aplikasi Danfoss Capillary Tube selector

Adapun panjang dan diameter pipa yang direkomendasikan dengan beban total 266,75 watt, temperatur evaporasi serta kondensasi sebesar -4°C

dan 44°C . Adalah 1,99 m dengan diameter 0,044 inch.

d. Kondensor

$$\begin{aligned}
 Q_h &= Q_{\text{in}} + W_k \\
 &= 266,75 \text{ watt} + 95 \text{ watt} \\
 &= 361,75
 \end{aligned}$$

$$Q_h = 361,75 \text{ W}$$

$$U = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = 28 \text{ K}$$

A = Dimensi luas bagian permukaan kondensor.

Maka dimensi kondensor yang dibutuhkan yaitu :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q_h}{U \times \Delta T} \\
 &= \frac{361,75}{15 \times 28} = 0,8 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

5. Kesimpulan

Setelah melakukan rancang bangun *showcase* buah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1 Rancang Bangun mesin *showcase* ini menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dan dapat mengaplikasikan alat ini dalam kehidupan sehari - hari.
- 2 Beban pendingin total mesin *showcase* buah ini adalah sebesar 0,26675 KW atau 266,75 watt
- 3 COP mesin *showcase* pada perencanaan sebesar 2,8

Daftar Pustaka

- ASHRAE. 2006. *ASHRAE Handbook of refrigeration*. American society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning: Inc
- Boyle, G. 2002. *Australian Refrigeration and Air Conditoning Vol 1*. WestOne Services Companies Inc: West Perth
- Dossat, R.J. 1981. *Principles Of Refrigeration*. Jhon Wiley and Sons, Inc: New York
- Moran, M., J, Saphiro. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Jhon Wiley & Sons, Inc: London
- Rex, Miller. 2009. *HVAC Troubleshooting Guide*. The McGraw-Hill Companies, Inc: New York
- Stoecker, W.F, Jones,W.,N. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. The McGaw-Hill, Inc: New York
- Whitman, B, and all. 2009. *Refrigeration & Air Conditioning Technology 6th Edition*. Delmar Cengage Learning: Clifton Park, USA