



---

## OPTIMALISASI BEBAN PENDINGIN REEFER CONTAINER TERHADAP KOMODITI BUAH JERUK

Agus Haris Abadi<sup>1)\*</sup>, Mochamad Ridwan Taufik<sup>1)</sup>, Adhan Efendi<sup>1)</sup>

1) Politeknik Negeri Subang

\*)email: agusharis936@gmail.com

---

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima : 30 Jan 2019

Disetujui : 06 April 2019

Dipublikasikan : Mei 2020

---

**Kata Kunci:** Reefer  
Container, Buah jeruk,  
Beban pendingin,  
COP

**Keywords:** *Reefer  
Container, Citrus  
fruit, cooling load,  
COP*

### Abstrak

Menjaga kualitas dan kesegaran dari buah-buahan dan sayur-sayuran yang membutuhkan waktu perjalanan Panjang adalah suatu keharusan, karena kualitas produk akan berpengaruh pada nilai jual. Sehingga permintaan produk akan semakin meningkat. Dalam menjaga kualitas kesegaran dan kualitas buah – buahan maupun sayur-sayuran dibutuhkan alat yang dapat mengkondisikan udara sehingga suhu dan kelembaban dari komoditi tersebut tetap terjaga. Reefer Coontainer atau kontainer pendingin ini berfungsi untuk mengkondisikan udara. Alat ini biasa digunakan untuk membawa komoditi seperti buah dan sayur untuk di ekspor ke negara lain. Alat ini digunakan karena dibutuhkan waktu yang lama untuk mengirim suatu produk untuk di ekspor ke negara lain. Tetapi ada beberapa kendala yang menyebabkan komoditi mengalami penurunan kualitas yang disebabkan oleh beberapa faktor. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui nilai beban pendinginan total dan kelembaban relatif pada Reefer Container agar temperatur dan kelembaban di dalam kontainer dapat tersirkulasi dengan baik sehingga komoditi yang berada di dalamnya akan terjaga sampai tujuan meskipun memakan waktu yang lama. Beban pendinginan pada suatu mesin pendingin sangat mempunyai pengaruh yang besar terhadap nilai kapasitas pendinginan mesin tersebut. Beban pendinginan juga berpengaruh terhadap nilai COPnya. Semakin besar nilai beban pendinginannya maka semakin kecil COP (Coefficient of Performance) pada mesin pendingin tersebut

### Abstract

*Maintaining the quality and freshness of fruits and vegetables that require long travel time is a must, because the quality of the product will affect the sale value. So that the demand for products will increase. In maintaining the quality of freshness and quality of fruits and vegetables, tools are needed that can condition the air so that the temperature and humidity of these commodities are maintained.*

*This Reefer Coontainer or cooling container serves to condition the air. This tool is commonly used to carry commodities such as fruit and vegetables for export to other countries. This tool is used because it takes a long time to send a product for export to another country. However, there are several obstacles that cause the commodity to experience quality degradation due to several factors. Therefore it is necessary to do research to determine the value of total cooling load and relative humidity on the Reefer Container so that the temperature and humidity in the container can circulate properly so that the commodities inside will be maintained until their destination even though it takes a long time.*

*The cooling load on a cooling machine has a great influence on the value of the engine cooling capacity. The cooling load also affects the COP value. The greater the value of the cooling load, the smaller the COP (Coefficient of Performance) on the cooling engine.*

---

## PENDAHULUAN

Reefer Container adalah satu jenis peti kemas refrigeration unit dengan system pendingin tertutup, untuk mengawetkan atau menjaga temperatur atau suhu komoditi yang ada di dalamnya. Komoditi yang disimpan di dalam kontainer seperti ini biasanya produk hortikultura dan pertanian segar.

Produk hortikultura dan pertanian segar adalah organisme hidup yang membawa banyak proses biologis yang penting untuk mempertahankan kehidupan. Energi yang diperlukan untuk proses kehidupan ini berasal dari akumulasi cadangan makanan melalui proses yang disebut respirasi. Hasil akhir dari aktivitas respirasi adalah deteriorasi produk dan penuaan, dan karenanya mencapai tingkat respirasi setinggi mungkin diinginkan untuk memperpanjang umur simpan bahan biologis (Brosnan & Sun, 2001). Adapun menurut Kementerian Pertanian Indonesia, Dengan naiknya volume ekspor jenis buah-buahan, kini buah-buahan lokal mampu merajai pasar dalam negeri dan pasar ekspor. (Kementerian Pertanian, 2014). Maka perlunya untuk menjaga kualitas dari komoditi adalah hal yang wajib, agar volume ekspor tidak menurun atau bahkan bisa jadi meningkat.

Untuk itu produk perlu dijaga suhunya hingga suhu rendah dan kelembaban yang sesuai untuk menjaga kualitas dari komoditi. Namun, selama periode transportasi yang luas, buah-buahan dikemas dengan panas dan perpindahan massa dengan lingkungan. Selain itu, pendinginan seragam dalam jumlah besar di dalam kontainer pengiriman sulit untuk dicapai, karena adanya distribusi aliran udara yang tidak merata yang menghasilkan perbedaan suhu dan kelembaban yang cukup besar dalam produk.



Gambar 1. Reefer Container. Sumber: (Wikipedia, 2009)

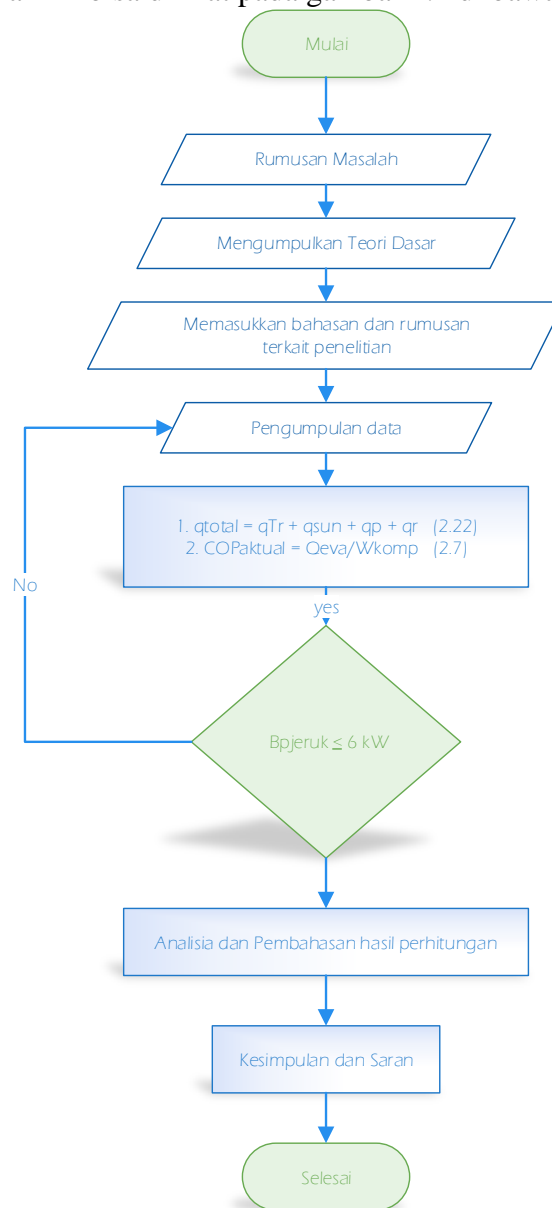
Adapun komoditi yang di ekspor/impur itu haruslah melakukan perjalanan yang lama bahkan bisa sampai dengan 30 hari (Fawole & Opara, 2013). Petikemas pendingin juga digunakan untuk mengangkut produk yang mudah membusuk seperti buah-buahan, jika jarak perjalanan antara tempat pengiriman ke tempat tujuan berjarak lebih dari 2 jam (Freiboth, Goedhals-Gerber, Van Dyk, & Dodd, 2013). Kesegaran dari komoditi tersebut harus terjaga sampai ke tempat tujuan, sehingga dibutuhkan tempat yang dapat menjaga agar komoditi biar tetap segar. Kondisi buah-buahan sangat mempengaruhi kualitas buah tersebut (Efendi, Nugraha, & Baharta, 2019). Reefer Container merupakan salah satu tempat yang digunakan untuk mengangkut komoditi buah-buahan maupun sayuran jarak jauh agar tetap segar. Namun ada beberapa kendala yang menyebabkan komoditi yang berupa buah-buahan maupun sayur-sayuran ketika sampai di tempat yang dituju kesegarannya berkurang bahkan hilang. Hal tersebut bisa dikarenakan oleh beberapa faktor teknis yang terjadi pada Reefer Container, salah satunya tingkat optimal oksigen dan karbondioksida (Legros, 2018). Selama 20 tahun terakhir, sektor pengiriman barang telah ditandai oleh proses perubahan berkelanjutan, yang mengarah dari kapal khusus ke kontainer barang. Faktanya,

armada curah reefer telah mengalami penurunan yang tidak dapat dibatalkan, sementara armada kontainer reefer telah menunjukkan pertumbuhan yang berkelanjutan (Arduino, Carrillo Murillo, & Parola, 2015).

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan optimalisasi beban pendingin reefer Container terhadap komoditi produk hortikultura dan pertanian segar.

## METODE PENELITIAN

Langkah kerja penelitian merupakan serangkaian prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian yang terstruktur secara sistematis dan terarah agar tujuan dari penelitian bisa tercapai dengan baik (Sugiyono, 2012). Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 1.2 di bawah ini:



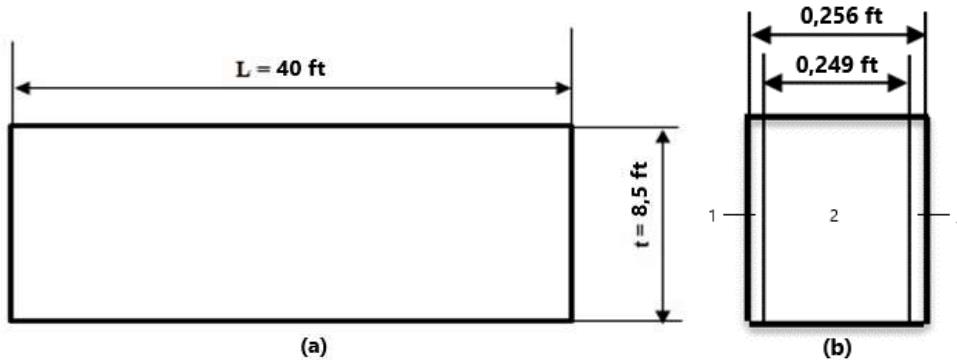
Gambar 2. Diagram alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Beban Pendinginan Total *Reefer Container* dengan diasumsikan pada *reefer Container* adalah keadaan container diam, suhu ruangan (T), yaitu 35°C untuk daerah Tanjung Priok dan sekitarnya pada pukul 14.00 WIB, Tekanan (P) 101 kPa, dan kelembaban relative (RH) 35% (Stoecker, 1989). Dari asumsi tersebut maka didapatkan:

Beban Pendinginan Eksternal

Menghitung beban pendinginan eksternal di dinding A dan dinding B, karena luas dan ketebalan dinding bernilai sama.



Gambar 3. (a) Luas dinding dan (b) ketebalan dinding A *reefer Container*

1 ft	= 3,28084 m	Tebal material (1)	= 0,001 m
Panjang (L)	= 40 ft	Tebal material (2)	= 0,076 m
	= 12,192 m	Tebal material (3)	= 0,001 m
Tinggi (t)	= 8,5 ft	K1	= 15 W/m.K
	= 2,591 m	K2	= 0,025 W/m.K
A	= L x t	K3	= 15 W/m.K
A	= 12,192 m x 2,591 m		

$$T_1 = 35^{\circ}\text{C} = 308 \text{ K (temperature luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^{\circ}\text{C} = 275 \text{ K (temperature dalam ruangan)}$$

$$T_3 = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ K (temperature permukaan dinding luar kontainer)}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas adalah  $h_{c1} = 15 \text{ W/m}^2.\text{K}$   $h_{c2} = 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Koefisien perpindahan panas radiasi adalah  $h_r = 185,94 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Nilai  $h_{c1}$  dan  $h_{c2}$  didapatkan dari Tabel 2.8

$$1 \text{ ft} = 3,28084 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (L)} = 40 \text{ ft}$$

$$= 12,192 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (t)} = 8,5 \text{ ft}$$

$$= 2,591 \text{ m}$$

$$A = L \times t$$

$$A = 12,192 \text{ m} \times 2,591 \text{ m}$$

$$A = 31,59 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 35^{\circ}\text{C} = 308 \text{ K (temperatur luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^{\circ}\text{C} = 275 \text{ K (temperatur dalam ruangan)}$$

$$T_3 = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ K (temperatur permukaan dinding luar kontainer)}$$

$$\text{Tebal material } 1 = 0,001 \text{ m}$$

$$2 = 0,076 \text{ m}$$

$$3 = 0,001 \text{ m}$$

$$k_1 = 15 \text{ W/m.K}$$

$$k_2 = 0,025 \text{ W/m.K}$$

$$k_3 = 15 \text{ W/m.K}$$

(dari Tabel 3.1)

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas adalah:

$$h_{c1} = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad h_{c2} = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

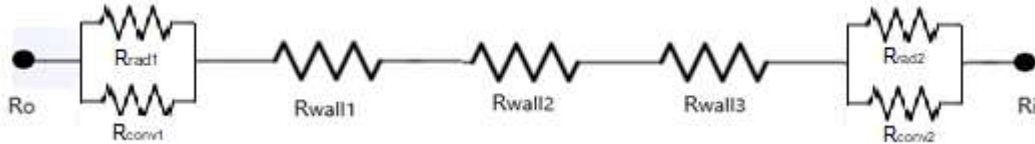
Koefisien perpindahan panas radiasi adalah:

$$h_r = 185,94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Nilai  $h_{c1}$  dan  $h_{c2}$  didapatkan dari Tabel 2.8

Tahanan Panas total:

Dengan menggunakan Gambar 1.4 (b), nilai Tahanan panas total adalah:



Gambar 4. Perpindahan kalor melewati lapisan dinding container

$$\begin{aligned} R_{total} &= (R_{rad,1} + R_{conv,1}) + R_{wall,1} + R_{wall,2} + R_{wall,3} + (R_{rad,2} + R_{conv,2}) \\ &= \frac{1}{(h_{r1} + h_{c1})A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{(h_{r2} + h_{c2})A} \\ &= \frac{1}{(185,94 + 15)(31,59)} + \frac{0,001}{(15)(31,59)} + \frac{0,076}{(0,025)(31,59)} + \frac{0,001}{(15)(31,59)} \\ &\quad + \frac{1}{(185,94 + 5)(31,59)} \\ &= 0,096 \text{ K/W} \end{aligned}$$

Beban Panas Transmisi dinding A *Reefer Container* adalah:



Gambar 5. Hambatan termal total

$$\begin{aligned} q_{Tr} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ q_{Tr} &= \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \\ &= \frac{308 - 275}{0,096} = 343,75 \text{ W} \end{aligned}$$

**Beban panas matahari dinding A reefer Container adalah:**

Dinding A menghadap ke arah timur dengan waktu matahari pada 14.00. didapatkan nilai 22°C. (dari table 2.10 CLTD Walls).

$$T_1 = 35^\circ\text{C} \text{ (temperatur luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^\circ\text{C} \text{ (temperatur dalam ruangan)}$$

$$CLTD = 22^\circ\text{C}$$

$$CLTD_{adj} = 22 + (25 - 2) + (35 - 29) = 51^\circ\text{C}$$

$$R = 3,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ maka nilai } U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{q_{sun}}{A} = U(CLTD) = 0,33(51) = 16,83 \text{ W/m}^2$$

$$q_{sun} = 16,83 \times 31,59 = 531,66 \text{ W}$$

Nilai Beban Panas Transmisi pada dinding B *Reefer Container* adalah sama dengan dinding A *Reefer Container*, yaitu:

$$q_{Tr} = 343,75 W$$

Beban Panas Matahari dinding B *Reefer Container* adalah:

Dinding B menghadap ke arah barat dengan waktu matahari pada 14.00.

Didapatkan nilai 11°C. (dari tabel 2.10 CLTD Wallls)

$$T_1 = 35^\circ\text{C} \text{ (temperatur luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^\circ\text{C} \text{ (temperatur dalam ruangan)}$$

$$CLTD = 11^\circ\text{C}$$

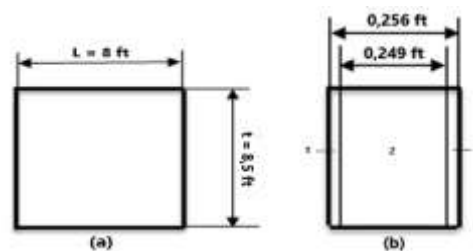
$$CLTD_{adj} = 11 + (25 - 2) + (35 - 29) = 40^\circ\text{C}$$

$$R = 3,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ maka nilai } U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{q_{sun}}{A} = U(CLTD) = 0,33(40) = 13,2 \text{ W/m}^2$$

$$q_{sun} = 13,2 \times 31,59 = 417 W$$

Menghitung Beban pendinginan Eksternal di dinding C dan dinding D, karena luas dan ketebalan dinding bernilai sama.



Gambar 6. (a) Luas dinding dan (b) ketebalan dinding A *Reefer Container*

$$\begin{aligned} \text{Panjang (L)} &= 8 \text{ ft} \\ &= 2,438 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi (t)} &= 8,5 \text{ ft} \\ &= 2,591 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A = L \times t$$

$$A = 2,438 \text{ m} \times 2,591 \text{ m}$$

$$A = 6,32 \text{ m}^2$$

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas adalah:

$$h_{c1} = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad h_{c2} = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Nilai  $h_{c1}$  dan  $h_{c2}$  didapatkan dari Tabel 2.8

Tahanan panas total:

Dengan menggunakan Gambar 4.2 (b), nilai Tahanan panas totalnya adalah:

$$R_{total} = (R_{rad,1} + R_{conv,1}) + R_{wall,1} + R_{wall,2} + R_{wall,3} + (R_{rad,2} + R_{conv,2})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{(h_{r1}+h_{c1})A} + \frac{L_1}{k_1A} + \frac{L_2}{k_2A} + \frac{L_3}{k_3A} + \frac{1}{(h_{r2}+h_{c2})A} \\
 &= \frac{1}{(185,94 + 15)(6,32)} + \frac{0,001}{(15)(6,32)} + \frac{0,076}{(0,025)(6,32)} + \frac{0,001}{(15)(6,32)} \\
 &\quad + \frac{1}{(185,94 + 5)(6,32)} \\
 &= 0,482 \text{ K/W}
 \end{aligned}$$

Beban Panas Transmisi dinding C *Reefer Container* adalah:

$$\begin{aligned}
 q_{Tr} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 q_{Tr} &= \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \\
 &= \frac{308 - 275}{0,482} = 68,46 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Beban Panas Matahari dinding C *Reefer Container* adalah:

Dinding C menghadap ke arah utara dengan waktu matahari pada 14.00. Didapatkan nilai 9°C. (dari tabel 2.10 CLTD Wallls)

$$T_1 = 35^\circ\text{C} \text{ (temperatur luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^\circ\text{C} \text{ (temperatur dalam ruangan)}$$

$$CLTD = 9^\circ\text{C}$$

$$CLTD_{adj} = 9 + (25 - 2) + (35 - 29) = 38^\circ\text{C}$$

$$R = 3,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ maka nilai } U = 0,329 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{q_{sun}}{A} = U(CLTD) = 0,329(38) = 11,51 \text{ W/m}^2$$

$$q_{sun} = 11,502 \times 6,32 = 79,01 \text{ W}$$

**Nilai Beban Panas Transmisi pada dinding D *Reefer Container* adalah sama dengan dinding C *Reefer Container*, yaitu:**

$$q_{Tr} = 68,46 \text{ W}$$

Beban Panas Matahari dinding D *Reefer Container* adalah:

Dinding D menghadap ke arah selatan dengan waktu matahari pada 14.00. Didapatkan nilai 19°C. (dari tabel 2.10 CLTD Wallls).

$$T_1 = 35^\circ\text{C} \text{ (temperatur luar ruangan)}$$

$$T_2 = 2^\circ\text{C} \text{ (temperatur dalam ruangan)}$$

$$CLTD = 19^\circ\text{C}$$

$$CLTD_{adj} = 19 + (25 - 2) + (35 - 29) = 48^\circ\text{C}$$

$$R = 3,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ maka nilai } U = 0,329 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{q_{sun}}{A} = U(CLTD) = 0,329(48) = 15,792 \text{ W/m}^2$$

$$q_{sun} = 15,792 \times 6,32 = 99,8 \text{ W}$$

Beban Panas Matahari atap *Reefer Container* adalah:

Beban panas Matahari atap *Reefer Container* dengan waktu matahari pada 14.00. Didapatkan nilai 24°C. (dari tabel 2.9 CLTD Roofs).

$$CLTD = 24^\circ\text{C}$$

$$CLTD_{adj} = 24 + (25 - 2) + (35 - 29) = 53^\circ\text{C}$$

$$R = 3,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ maka nilai } U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{q_{sun}}{A} = U(CLTD) = 0,33(53) = 17,49 \text{ W/m}^2$$

$$q_{sun} = 17,49 \times 31,59 = 552,5 \text{ W}$$

### Beban Pendinginan Internal

Beban pendinginan internal pada *Reefer Container* ini mencakup beban panas dari produk dan beban panas respirasi dari produk. Produk yang akan dihitung terdiri dari beberapa varian buah-buahan.

Menghitung volume di dalam ruangan container dengan nilai sebagai berikut:

$$P = 12,032 \text{ m} \quad \ell = 2,352 \text{ m} \quad t = 2,385 \text{ m}$$

$$\text{Maka didapatkan, } V_i = 67,5 \text{ m}^3$$

Kapasitas volume di dalam ruangan container adalah 67,3 m<sup>3</sup> dengan beban maksimum 27,4 ton (table 2.1).

Menghitung volume keranjang pembungkus buah dengan nilai,

$$P = 0,62 \text{ m} \quad \ell = 0,43 \text{ m} \quad t = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Maka didapatkan, } V_k = 0,086 \text{ m}^3$$

Volume dari keranjang yang digunakan untuk membungkus buah adalah 0,086 m<sup>3</sup> dengan kapasitas per keranjang < 20kg maksimal 3 tumpukan, dan setiap 1 keranjang membawa beban ±15 kg..

Dan untuk 1 muatan penuh *Reefer Container* 40 inchi memuat 258 keranjang kontainer dengan beban total 3.870 kg

Sampel yang diambil adalah beban pendingin internal untuk komoditi buah jeruk, dimana:

Beban panas produk jeruk

$$m_{jeruk} = 3870 \text{ kg} \quad (\text{massa total buah jeruk})$$

$$T_1 = 19^\circ\text{C} \quad (\text{Temperatur awal buah jeruk})$$

$$T_2 = 2^\circ\text{C} \quad (\text{Temperatur dalam kontainer})$$

$$\text{Kalor spesifik buah jeruk (} C_{p_{jeruk}} \text{)} = 3,77 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \quad (\text{Tabel 2.12})$$

$$q_{jeruk} = m \cdot Cp(\Delta T) = 3870 \times (3,77) \times 17$$

$$= 248028,3 \text{ kJ}$$

$$q_{jeruk} = 248028,3 \text{ kJ}/24 \text{ hour} = 10334,51 \text{ kJ/hr}$$

$$q_{jeruk} = 2,87 \text{ kW} = 2870 \text{ W}$$

Beban panas respirasi Jeruk

$$m = 3870 \text{ kg} \quad (\text{Berat muatan produk jeruk})$$

$$R = 14 \text{ mW} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (\text{dari Tabel 2.8})$$

$$q_{R_{jeruk}} = m \cdot R$$

$$= 3870 \times 14$$

$$= 54180 \text{ mW}$$

$$q_{R_{jeruk}} = 54,18 \text{ W}$$

### Beban Pendinginan Total

Dari sampel tersebut didapatkan hasil beban pendinginan total untuk komoditas buah jeruk

$$q_{total} = q_{tr} + q_{sun} + q_{prod} + q_R$$

$$= 824,42 + 1679,97 + 2870 + 54,18$$

$$q_{total} = 5428 \text{ W} = 5,428 \text{ kW}$$



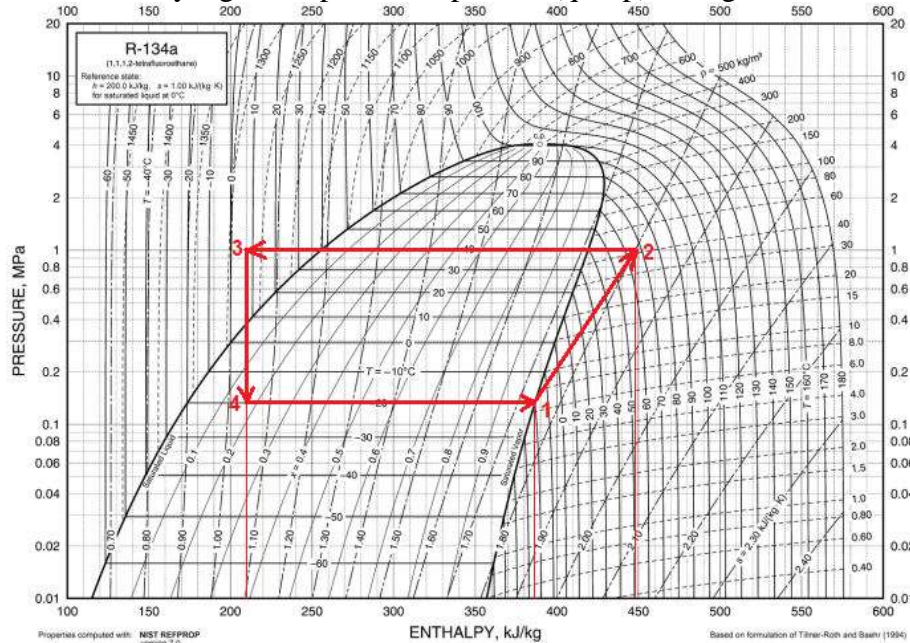
**Perhitungan COP system**

Untuk menghitung nilai COP system Refrigerator dibutuhkan data dari masing-masing alat thermal dan komoditi pada *Reefer Container*. Langkah pertama adalah membuat table yang berisikan data-data yang akan digunakan dalam menghitung COP system refrigerator. Lalu gambarkan diagram P-h R134a untuk mencari nilai entalpi.

Tabel *Specific Heat Capacity* (Cp)

Jenis Komoditi	<i>Specific Heat Capacity</i> (Cp) kJ/kg°C	Kadar Air pada Buah (%)	Tingkat Keadaan Keluaran - Kompresor	Tingkat Keadaan Keluaran - Kondensor	Tingkat Keadaan Keluaran - Katup
Jeruk	3,77	87 %	P = 10 bar T = 65°C	P = 10 bar T = 8°C	P = 1,5 bar T = 20°C

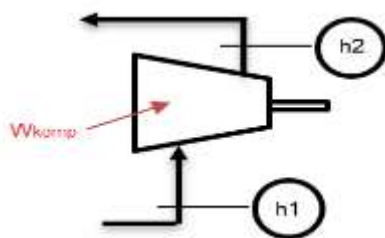
Dari tabel tersebut diperoleh data untuk menghitung nilai lainnya yaitu: Panas actual yang diserap oleh evaporator (q<sub>evap</sub>) [kJ/kg]



Gambar 7. Diagram P-h actual (Takeuchi et al., 2013)

Dari diagram P-h maka kita bisa mendapatkan data-data nilai entalpi (h) tiap titik acuan skema sehingga kita dapat menghitung nilai COP pada *Reefer Container*.

Proses 1-2: Proses Kompresi secara *polytropic* pada kompresor.



Gambar 8. Proses kerja kompresor

$$P_2 = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa} \quad T_2 = 65^\circ\text{C}$$

$$h_1 = \pm 385 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = \pm 449 \text{ kJ/kg}$$

Balance Energi:

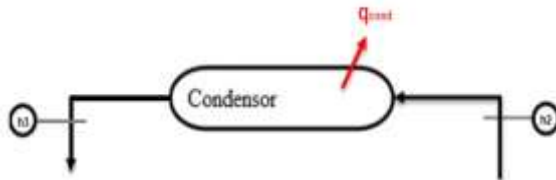
$$\Sigma E = 0$$

$$h_1 + W_{komp} - h_2 = 0$$

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

$$W_{komp} = 449 - 385 = 64 \text{ kJ/kg}$$

Proses 2-3: Proses pembuangan panas secara isobaric di kondensor



**Gambar 9. Proses kerja Kondensor**

$$P_2 = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa} \quad P_3 = P_2$$

$$T_2 = 65^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 8^\circ\text{C}$$

$$h_2 = \pm 449 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = \pm 210 \text{ kJ/kg}$$

Balance Energi:

$$\Sigma E = 0$$

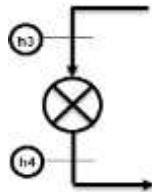
$$h_2 - q_{cond} - h_3 = 0$$

$$q_c = h_2 - h_3$$

$$= 449 - 210$$

$$= 239 \text{ kJ/kg}$$

Proses 3-4 Proses penurunan tekanan pada katub ekspansi secara adiabatik.



**Gambar 10. Proses Kerja Katup Ekspansi**

$$P_3 = 1 \text{ MPa}$$

$$P_4 = 1,5 \text{ bar} = 0,15 \text{ MPa}$$

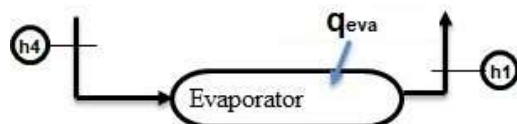
$$T_3 = 8^\circ\text{C}$$

$$T_4 = -20^\circ\text{C}$$

$$h_3 = \pm 210 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = h_3$$

Proses 4-1 Proses penyerapan panas pada evaporator dari lingkungan yang mengubah fase refrigerant dari fase campuran (titik 4) menjadi uap jenuh (titik 1).



**Gambar 11. Proses kerja Evaporator**

$$P_4 = P_1$$

$$T_4 = T_1$$

$$T_1 = -20^\circ\text{C}$$

$$h_4 = h_3$$

$$h_1 = \pm 385 \text{ kJ/kg}$$

Balance Energi:

$$\begin{aligned}\Sigma E &= 0 \\ h_4 + q_{evap} - h_1 &= 0 \\ q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 385 - 210 \\ &= 175 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Coefficient of performance (COP)

Nilai *Coefficient of Performance* (COP) yang dihasilkan dari komoditi buah Jeruk adalah sebagai berikut:

Panas aktual Evaporator ( $q_e$ ) adalah: 175 kJ/kg

Energi yang dihasilkan kompresor ( $W_{komp}$ ) adalah: 64 kJ/kg

$$COP_{jeruk} = \frac{q_{evap}}{w_k} = \frac{175}{64} = 2,7$$

$$COP_{ideal} = \frac{q_{evap}}{w_k} = \frac{175}{48} = 3,6$$

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan di atas maka didapatkan beberapa poin diantaranya adalah sebagai berikut:

Beban pendingin eksternal dari *reefer container* menghasilkan angka yang berbeda setiap sisi container, hal ini disebabkan oleh luas dari setiap sisi container dan beban sinar matahari.

Setiap *reefer container* yang membawa muatan komoditas berupa buah-buahan, maka akan memiliki beban pendinginan yang berbeda tergantung dari nilai beban pendinginan pada setiap buah-buahan, beban pendinginan ini berpengaruh pada tekanan dan temperature keluaran evaporator dimana jika beban pendinginan tinggi maka tekanan dan temperature akan naik. Begitu juga semakin tinggi beban pendinginan di *reefer container* akan meningkatkan kerja kompresor yang dapat menurunkan COPnya.

Untuk penelitian lebih lanjut maka dapat menggunakan lebih dari satu jenis buah-buahan dan jenis refrigerant, sehingga hasilnya dapat dibandingkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arduino, G., Carrillo Murillo, D., & Parola, F. (2015). Refrigerated container versus bulk: evidence from the banana cold chain. *Maritime Policy and Management*. <https://doi.org/10.1080/03088839.2013.851421>
- Brosnan, T., & Sun, D. W. (2001). Precooling techniques and applications for horticultural products - a review. *International Journal of Refrigeration*. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(00\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(00)00017-7)
- Efendi, A., Nugraha, A., & Baharta, R. (2019). Manufacturing of Electrical Dryer Machine for Food and Fruit Products Manufacturing of Electrical Dryer Machine for Food and Fruit Products. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/692/1/012006>
- Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2013). Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. *Industrial Crops and Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.028>

- Freiboth, H. W., Goedhals-Gerber, L., Van Dyk, F. E., & Dodd, M. C. (2013). Investigating temperature breaks in the summer fruit export cold chain: A case study. *Journal of Transport and Supply Chain Management*. <https://doi.org/10.4102/jtscm.v7i1.99>
- Kementerian Pertanian. (2014). Statistik Pertanian. *Kementerian Pertanian*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Legros. (2018, September). Ekspor Sayur dan Buah dengan Kontainer CMA CGM Lebih Awet. *Bisnis.Com*.
- Stoecker, W. F. (1989). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara* (Vol. 53). Jakarta: Erlangga. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sugiyono. (2012). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Bandung: Alfabeta. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Takeuchi, A., Amiya, K., Wada, T., Yubuta, K., Zhang, W., & Makino, A. (2013). Entropies in alloy design for high-entropy and bulk glassy alloys. *Entropy*. <https://doi.org/10.3390/e15093810>
- Wikipedia. (2009). Refrigerated container power consumption.