

PERANCANGAN MOBIL *BOX* PENDINGIN SEBAGAI PROSES DISTRIBUSI DAGING SAPI PADA TEMPERATUR 35°F DENGAN KAPASITAS 4 TON

¹Moch. Sugiri, ²Rizky Ardhiansyah.

¹Jurusan Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta, sugiri.itbu@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta, rizky.ardhiansyah18@gmail.com

Abstrak

Daging sapi dikenal sebagai hasil peternakan yang mudah mengalami pembusukan. Pembusukan tersebut terutama disebabkan karena penanganan dan perlakuan pasca pemotongan yang kurang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sebuah mobil *box* pendingin, yang dapat mempertahankan kualitas daging sapi pada temperatur 35°F dengan kelembaban relatif 87%. Mobil *box* pendingin ini dirancang untuk beroperasi khususnya di Prov. DKI Jakarta dengan temperatur panas rata-rata adalah 91,4°F (33°C). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif analitik dengan pendekatan kuantitatif. Teknik pengumpulan data berupa studi literatur, observasi dan wawancara. Mobil *box* pendingin ini dirancang untuk menyimpan daging sapi sebanyak 4 ton (8.818,49 lb). Mobil *box* pendingin ini dirancang menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap. Konstruksi mobil *box* pendingin terdiri atas pelat baja, *polyurethane* dan alumunium. Volume interior adalah sebesar 525,395 ft³ dengan panjang 13,7 ft, lebar 6,5 ft dan tinggi 5,9 ft. Total beban pendinginan yang dihasilkan adalah sebesar 28.143,5 Btu/hr atau 2,35 *Ton of Refrigeration*. Daya kompresor sebesar 4 HP (2,98 kW), dengan nilai COP sebesar 5,94.

Kata kunci : Perancangan, Mobil, *Box*, Beban, Pendingin.

1. PENDAHULUAN

Daging sapi mudah mengalami kerusakan oleh bakteri yang ditandai dengan perubahan warna, bau dan timbul lendir. Daging sapi harus mendapatkan perlakuan yang tepat agar kesegaran dan usia simpannya dapat bertahan lama, penyebab kerusakan daging sapi dikarenakan penanganan dan perlakuan pasca pemotongan yang kurang tepat. Penyimpanan daging sapi di ruang pendingin dapat menghambat aktivitas bakteri pembusuk (Agustina K. K, 2017).

Mobil *box* pendingin merupakan sebuah alat transportasi yang didesain dan dilengkapi peralatan mesin pendingin, yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan-bahan makanan, daging, obat-obatan, tepung, alkohol dan lain-lain. Proses distribusi yang dilakukan dengan menggunakan mobil *box* pendingin sehingga dapat berpindah-pindah dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mempertahankan

temperatur dan kelembaban produk yang didinginkan.

Proses pendinginan di dalam sistem refrigerasi adalah penyerapan kalor oleh suatu zat pendingin yang dinamakan refrigeran. Refrigeran akan menyerap kalor yang berada disekelilingnya, akibatnya refrigeran akan menguap sehingga akan terjadi perubahan temperatur di sekitar refrigeran akan bertambah dingin.

Berdasarkan latar belakang permasalahan dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Penurunan kualitas daging sapi akibat penanganan yang kurang tepat.
2. Masih jarang nya mobil *box* pendingin yang digunakan pada proses penyimpanan dan pendistribusian daging sapi.

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

3. Berapakah dimensi ruangan yang dirancang untuk menyimpan daging sapi?
4. Berapakah besar beban pendinginan yang harus ditanggulangi oleh mobil *box* pendingin?
5. Berapakah daya kompresor yang dibutuhkan beserta COP?

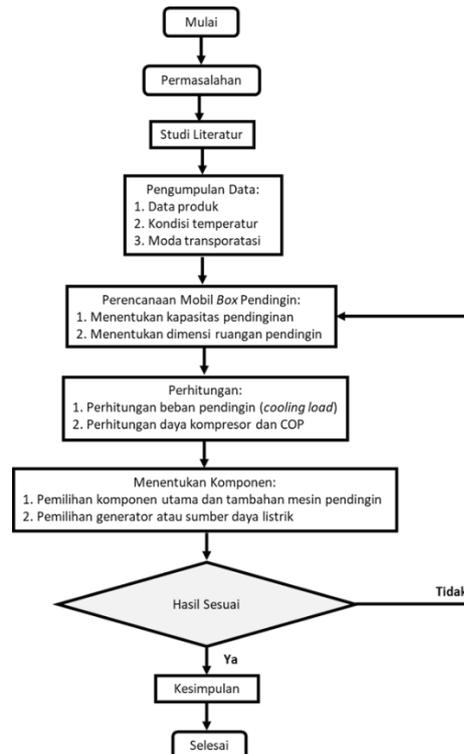
Berkaitan rumusan masalah yang diajukan, adapun tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Salah satu pedoman dalam menentukan dimensi ruangan untuk penyimpanan daging sapi dengan kapasitas 4 Ton.
2. Salah satu pedoman dalam menghitung *cooling load*.
3. Salah satu pedoman dalam merancang mobil *box* pendingin dengan menggunakan sistem pendingin kompresi uap (*refrigeration vapor compression system*).
4. Salah satu pedoman dalam merancang mobil *box* pendingin yang mampu mempertahankan temperatur sebesar 35°F (1,67°C).

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun metode penelitian yang digunakan secara deskriptif dengan pendekatan kuantitatif.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.
Sumber: Data Penelitian

2.2 Studi Literatur

Tahap awal penelitian dimulai dari mempelajari berbagai buku, jurnal serta sumber dari internet dan berbagai sumber lain yang akan menjadi referensi dalam penulisan penelitian ini. Studi literatur menjadi landasan teoritis yang akan digunakan pada penelitian yang akan dilakukan.

2.3 Observasi

Data penelitian ini diperoleh dengan cara mengamati secara langsung terkait produk (daging) dan mobil *box* pendingin unit yang akan dirancang. Berdasarkan hal tersebut maka dapat menggunakan data tersebut sebagai acuan dalam merancang mobil *box* pendingin.

2.4 Wawancara

Wawancara yang dilakukan diperoleh dengan cara melakukan tanya jawab dengan narasumber yang berkompeten dibidangnya

2.5 Pengumpulan Data

Sebelum memulai proses penelitian maka penulis perlu melakukan pengumpulan data, diantaranya:

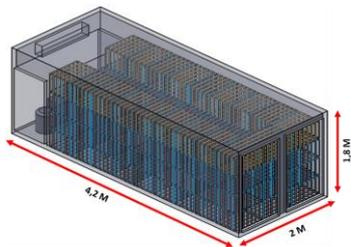
1. Mengumpulkan terkait data produk yang akan disimpan serta kapasitas penyimpanan 4 Ton (8.819,49 lb).
2. Mengetahui kondisi temperatur awal produk 91,4°F (33°C).
3. Mengetahui moda transportasi yang umum digunakan serta memilih alternatif desain. Lebih jelasnya perbandingan antara moda transportasi darat yang existing dengan mobil *box* pendingin dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Mobil Box Pendingin (b) Truk tanpa perlakuan pendingin.

Sumber: <http://id.wikipedia.org/jenis-jenis-truk>

4. Menentukan desain temperatur ruangan penyimpanan produk yang akan dirancang 35°F (1,67°C).
5. Menentukan dimensi ruangan penyimpanan yang akan dirancang, panjang: 4,2 m (13,7 ft); lebar: 2 m (6,5 ft); dan tinggi: 1,8 m (5,9 ft). Lebih jelasnya mengenai dimensi ruang penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan Box Styrofoam.
Sumber: Hasil Olah Data Penelitian

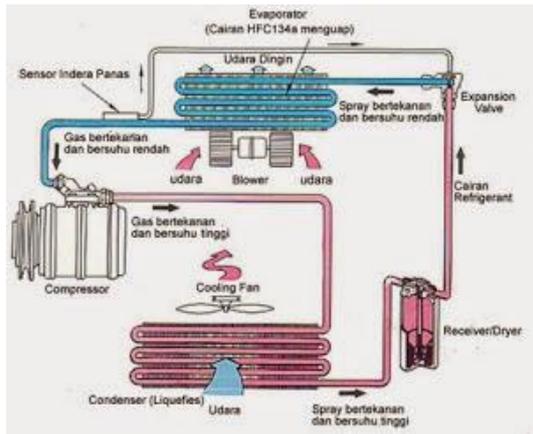
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sistem Kerja Refrigerasi Kompresi Uap

Perancangan mobil box berpendingin ini menggunakan *vapor compression refrigeration system* (mesin pendingin dengan sistem kompresi uap). Sistem ini merupakan salah satu sistem pendinginan yang paling banyak digunakan, karena mesin pendingin ini mempunyai konstruksi yang sederhana, perawatannya mudah dan mempunyai kapasitas panas laten yang lebih besar terhadap kapasitas panas sensibelnya, sehingga panas laten ini memberikan kemungkinan untuk memperoleh efek pendinginan yang lebih besar dari pada panas sensibelnya.

Secara singkat prinsip kerja dari sistem pendinginan kompresi uap ini adalah sebagai berikut:

1. Proses kompresi, uap refrigeran bertekanan dan bertemperatur rendah dikompresikan oleh kompresor secara *isentropic*, sehingga temperatur dan tekanannya menjadi tinggi sebelum masuk ke kondenser.
2. Proses kondensasi, uap refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan tinggi tersebut secara *isobar*, akan mengalami proses kondensasi atau pengembunan dan selanjutnya melepaskan panas ke media pendingin kondenser sehingga refrigeran berubah fasanya menjadi cairan.
3. Proses ekspansi, refrigeran cair diekspansikan pada *enthalpy* konstan dari refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi, menjadi refrigeran bertekanan dan bertemperatur rendah.
4. Proses evaporasi, proses evaporasi (penyerapan kalor). Refrigeran yang berbentuk uap di evaporator mengambil panas dari udara atau produk sekelilingnya pada tekanan konstan (*isobar*) dan *isothermal*, sehingga berubah kembali menjadi uap refrigeran bertekanan dan bertemperatur rendah, selanjutnya siklus ini terus berulang. Lebih jelasnya mengenai siklus refrigerasi kompresi uap dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap
Sumber: Berman E. T., 2013

3.2 Perhitungan Cooling Load

a. Cooling Load Luar Ruangan (Beban Dinding, Atap, Lantai dan Pintu)

Besarnya beban panas yang mengalir melalui dinding, atap, lantai dan pintu (Berman E. T, 2013)

$$Q_{\text{Dinding, Atap, Lantai dan Pintu}} = A \times U \times D \times 24$$

Dimana:

Q = Jumlah beban panas yang mengalir (Btu/hr).

A= Luas permukaan (ft²).

U= Total koefisien perpindahan panas (Btu/hr.ft².°F).

D= Perbedaan temperatur luar dan dalam (°F).

$$Q_{\text{Dinding}} : 12.721,45 \text{ Btu/24 hr}$$

$$Q_{\text{Atap}} : 5.608,01 \text{ Btu/24 hr}$$

$$Q_{\text{Lantai}} : 4.819,38 \text{ Btu/24 hr}$$

$$Q_{\text{Pintu}} : 965,83 \text{ Btu/24 hr}$$

$$Q_{\text{Luar Ruangan}} = (12.721,45 + 5.608,01 + 4.819,38 + 965,83) \text{ Btu/24 hr} = 24.114,68 \text{ Btu/24 hr}$$

b. Cooling Load Dalam Ruangan (Product, Air Change Load, Pekerja, Box Styrofoam dan Lamp)

1) Beban Panas Product

Besarnya beban panas dari product (Dossat, R. J., 1961).

$$Q_{\text{Product}} = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

Dimana:

Q = Jumlah beban panas (Btu).

m = Berat produk (lb).

c = Panas spesifik (Btu/lb/°F).

t₂ = Temperatur luar ruang pendingin (°F).

t₁ = Temperatur dalam ruang pendingin (°F).

$$Q_{\text{product}} = 8.818,49 \text{ lb} \times 0,75 \text{ Btu/lb/°F} \times (91,4 - 35)^\circ\text{F} = 373.022,13 \text{ Btu/24 hr}$$

2) Beban Panas Air Change Load

Besarnya beban panas dari Air Change Load (Dossat, R. J., 1961).

$$Q_{\text{Air Change Load}} = \text{Inside Volume} \times \text{Air Change} \times \text{Air Change Factor}$$

Dimana:

Air Change Load = Beban panas dari pertukaran udara (Btu/24 hr).

Inside Volume = Volume ruangan dalam (ft³)

Air Change Factor = Faktor pertukaran udara

$$Q_{\text{Air Change Load}} = 525,4 \text{ ft}^3 \times 26,0 \times 2,72 = 37.156,29 \text{ Btu/24 hr}$$

3) Beban Panas Pekerja

Besarnya beban panas dari pekerja (Dossat, R. J., 1961).

$$Q_{\text{People}} = \text{Factor} \times \text{number of people} \times \text{hr}$$

Dimana:

Q_{People} = Beban panas dari orang/pekerja (Btu/hr).

Factor = Faktor panas dari tubuh manusia

Number of People = Jumlah orang/pekerja

$$Q_{\text{Air Change Load}} = 840 \times 2 \times 24$$

$$= 40.320 \text{ Btu/24 hr}$$

4) Beban Panas Box Styrofoam

Besarnya beban panas dari box styrofoam (Dossat, R. J., 1961).

$$Q_{Box\ Styrofoam} = W \times C \times (t_2 - t_1) \times 24$$

Dimana:

- Q = Jumlah panas (Btu/hr)
- w = Berat *box styrofoam* (lb)
- C = Panas jenis *box styrofoam* (Btu/lb°F)
- t_2 = Temperatur *box styrofoam* (°F)
- t_1 = Temperatur mobil box pendingin (°F)
- $Q_{Box\ Styrofoam}$ = $(200 \times 0,44 \text{ lb}) \times 0,27 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \times (91,4 - 35^\circ\text{F}) \times 24$
= 32.161,54 Btu/24 hr

5) Beban Panas Lamp

Besarnya beban panas dari lampu (Dossat, R. J., 1961).

$$Q_{Lamp} = \text{Watt} \times 3,42 \times \text{hr}$$

Dimana:

- Q = Jumlah panas peralatan listrik (Btu/24 hr)
- Watt = Daya peralatan listrik (watt)
- $3,42$ = Faktor kali (Btu/watt hr)
- hr = Lama peralatan bekerja
- Q_{Lamp} = $(2 \times 30) \times 3,42 \times 24$
= 4.924,8 Btu/24 hr

c. Total Beban Pendingin Mobil Box Pendingin

Berikut ini merupakan hasil penjumlahan Total Beban Pendingin Mobil Box Pendingin dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Total Beban Pendingin Mobil Box Pendingin

No	Sumber Beban Pendinginan	Nilai Beban Pendinginan (Btu/24hr)
1	$Q_{Luar\ Ruang}$	24.114,68
2	Q_{Produk}	373.022,13
3	$Q_{Air\ Change\ Load}$ (Infiltration Load)	37.156,29
4	Q_{People}	40.320
5	$Q_{Box\ Styrofoam}$	32.161,54
6	Q_{Lamp}	4.924,8
(Qtotall)		511.699,43 Btu/24 hr

Sumber: Hasil Olah Data Penelitian

Waktu Operasional (20 Jam)

Mobil box pendingin pada penelitian ini dirancang untuk bekerja selama 20 jam.

$$Q_T = \frac{511.699,43}{20} = 25.585 \text{ Btu/hr}$$

d. Safety Factor

Safety factor perlu ditambahkan sebesar 10% untuk mengantisipasi adanya perubahan kalor (Gunawan, 1988).

$$Safety\ factor = 10\% \times 25.585 \text{ Btu/hr} = 2.558,5 \text{ Btu/hr}$$

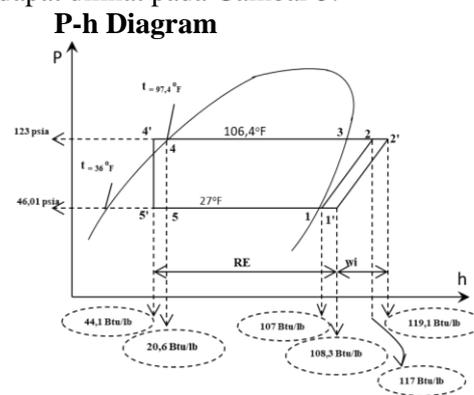
e. QAkhir Beban Pendinginan

$$Q_{Aakhir} = Q_{Total} + Safety\ factor = 25.585 + 2.558,5 = 28.143,5 \text{ Btu/hr}$$

Ton Refrigerasi = $\frac{28.143,5 \text{ Btu/hr}}{12000} = 2,35 \text{ Ton Refrigerasi}$

3.3 Perhitungan Thermodinamika (Diagram Mollier R-134a)

Refrigeran yang digunakan pada penelitian ini adalah R-134a. Terkait perhitungan thermodinamika dapat dilihat pada P-h Diagram. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram P-h R-134a. Sumber: Hasil Olah Data Penelitian

3.4 Analisis Matematis

a. Besarnya efek pendinginan (*Refrigeration Effect*)

$$RE = h_{1'} - h_{5'} = 108,3 \text{ Btu/lb} - 44,1 \text{ Btu/lb} = 64,2 \text{ Btu/lb}$$

- b. Panas refrigeran akibat kompresi
 $w_i = h_2' - h_1'$
 $= 119,1 \text{ Btu/lb} - 108,3 \text{ Btu/lb}$
 $= 10,8 \text{ Btu/lb}$
- c. Panas yang dibuang oleh kondenser
 $q_c = h_2' - h_4'$
 $= 119,1 \text{ Btu/lb} - 44,1 \text{ Btu/lb}$
 $= 75,0 \text{ Btu/lb}$
- d. Kesetimbangan panas (*heat balance*)
 $Q_c = RE + w_i$
 $= 64,2 \text{ Btu/lb} + 10,8 \text{ Btu/lb}$
 $= 75,0 \text{ Btu/lb}$
- e. Besarnya *Coeffisient of Performance* (COP)

$$\text{COP} = \frac{RE}{w_i}$$

$$= \frac{64,2}{10,8}$$

$$= 5,94$$
- f. *Ton of Refrigeration*

$$\text{TR} = \frac{Q_{\text{Total}}}{12000}$$

$$= \frac{28.143,5 \text{ Btu/hr}}{12000}$$

$$= 2,35 \text{ TR}$$
- g. Jumlah refrigeran yang harus dialirkan tiap menit

$$m = \frac{200 \times \text{TR}}{RE} \text{ lb/min}$$

$$= \frac{200 \times 2,35}{64,2}$$

$$= 7,3 \text{ lb/min}$$
- h. Efek pendinginan tiap menit
 $Q_e = m \times RE$
 $= 7,3 \text{ lb/min} \times 64,2 \text{ Btu/lb}$
 $= 469,1 \text{ Btu/min}$
- i. Kerja kompresi tiap menit
 $W_i = m \times w_i$
 $= 7,3 \text{ lb/min} \times 10,8 \text{ Btu/lb}$
 $= 78,91 \text{ Btu/min}$
- j. Jumlah panas yang harus dibuang tiap menit
 $Q_e = m \times q_c$
 $= 7,3 \text{ lb/min} \times 75,0 \text{ Btu/lb}$
 $= 548,0 \text{ Btu/min}$

- k. *Power compressor*
 $Power = m \times (h_2' - h_1')$
 $Compressor = 7,3 \text{ lb/min} \times (119,1 \text{ Btu/lb} - 108,3 \text{ Btu/lb})$
 $= 7,3 \text{ lb/min} \times 10,8 \text{ Btu/lb}$
 $= 78,91 \text{ Btu/min}$
 $= \frac{78,91 \text{ Btu/min} \times 778 \text{ ft/lb/btu}}{3.3000 \text{ ft-lb}}$
 $Power = 1,9 \text{ HP}$

3.5 Pemilihan Komponen & Sistem Perpipaan

- a. Pemilihan komponen
 Berikut ini merupakan komponen yang digunakan pada penelitian ini, lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pemilihan Komponen

No	Equipment	Brand	Type
1	Evaporator	Rivacold	33503
2	Condensing Unit	Bitzer	4EC-6.2Y-PT 2 - 4P
3	Katup Ekspansi	Danfoss	TEN2
4	Filter Drier	Catch-All	ODF Solder C-303-S
5	Sight Glass	Sporlan	SA-13
6	Thermostat	Ranco	16-6980
7	HLP	Ranco	0 16-6750

Sumber: Hasil Olah Data Penelitian

- b. Sistem Perpipaan
 Berikut ini merupakan ukuran pipa yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya:
 - a. Pipa hisap (*Suction Line*) : 1 1/8 inch
 - b. Pipa tekan (*Discharge Line*) : 7/8 inch
 - c. Pipa cair (*Liquid Line*) : 5/8 inch

4. KESIMPULAN

Adapun hasil kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Dimensi mobil *box* pendingin; panjang 13,7 ft, lebar 6,5 ft dan tinggi 5,9 ft. Temperatur simpan 35°F (1,67°C), RH 87%. Adapun produk yang akan disimpan adalah daging sapi dengan kapasitas 4 Ton (8.818,49 lb).

2. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan diperoleh beban pendinginan sebesar 28.143,5 Btu/hr atau 2,35 *Ton of Refrigeration*.
3. Mobil *box* pendingin ini menggunakan *vapor compresion refrigeration system*. Adapun daya kompresor sebesar 4 HP (2,98 kW), dengan nilai COP sebesar 5,94
2. Berman E. T., (2013) “Modul PLPG Teknik Pendingin”, Jakarta.
3. Dossat, R. J., (1961) “Principle of Refrigeration”, John Wiley & Sons Inc, New York.
4. Gunawan, R. (1988). Pengantar Teori Teknik Refrigerasi (Pendingin). Jakarta: Depdikbud

DAFTAR PUSTAKA

1. Agustina K. K., (2017) “Proses Pemotongan Ternak”, Denpasar.