

PERENCANAAN EVAPORATOR PADA FREEZER DENGAN KAPASITAS 8 KG

Sugeng Haryadi, Iwan Riswanto

ABSTRACT

Food storage to avoid damage requires a proper treatment. One way of food storage is to cool the food is below freezing point. The role of cooling techniques is essential to achieving that goal.

Freezer is one of the tools that are often used for the storage of foodstuffs. The main components of the freezer is the compressor, condenser, evaporator and expansion equipment

Refrigeration system consists of supporting components in a refrigeration system planning capacity of 8 kg of this product includes planning detail is only one principal component of the evaporator which is focused only on technical aspects in which the calculation is based on the principles of thermodynamics and heat transfer. This plan is intended to determine the dimensions of the evaporator or vaporizer equipment in accordance with the refrigeration capacity of 8 kg of product.

Keywords : planning, evaporator

1. PENDAHULUAN

Salah satu bidang aplikasi teknik adalah dalam pengawetan bahan makanan, berbagai cara digunakan manusia untuk menjaga agar bahan makanan tidak mengalami kerusakan dan tahan lama. Pengawetan bahan makanan tersebut dilakukan dengan bermacam-macam antara lain dengan : (1) pengeringan bahan makanan, (2) pengasapan bahan makanan, (3) memberi garam pada bahan makanan, (4) mendinginkan bahan makanan dll. Semua cara dilakukan untuk menghindari mikroba perusak makanan.

Telah diselidiki pada suhu 10 °C mikroba bakteri sukar hidup dan berkembang biak. Dengan teknik refrigrasi dapat dicapai temperatur ruang cukup rendah dibanding dengan cara pengawetan bahan makanan yang lain, pengawetan maupun penyimpanan bahan makanan dengan menggunakan teknik refrigrasi mempunyai keunggulan antara lain :

(1) tidak tergantung pada kondisi cuaca, (2) tidak terjadi penyusutan bahan makanan, (3) tidak mengubah sifat dan wujud asal bahan makanan, (4) kemungkinan terjadinya keracunan bahan makanan hampir tidak ada.

Sehubungan dengan latar belakang permasalahan diatas, menjadi pertimbangan penulis untuk merencanakan suatu system refrigerasi yang dituangkan dalam judul penelitian “ Perencanaan Evaporator Pada Freezer dengan Kapasitas 8 kg”.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka diambil suatu rumusan masalah untuk penelitian ini, yaitu : (1) berapa besar beban pendinginan yang diperlukan ?, (2) bagaimana perencanaan siklus sistem refrigerasi ? (3) bagaimana perencanaan Evaporator ?

2. PEMBAHASAN

2.1. Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan didasarkan pada : (1) beban pendinginan produk, (2) beban pendinginan akibat masuknya kalor dari luar melalui dinding-dinding, (3) beban pendinginan akibat terjadinya kebocoran.

Perhitungan Beban Pendingin :

a. Beban Produk dari udang : banyaknya beban pendingin yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur udang selama 3,5 jam dari waktu yang direncanakan.

$$Q_1 = m \cdot CP \cdot (T_1 - T_2) \\ = 800 \text{ gr} \times 0,83 \text{ Cal / gr}^\circ \text{C} (27 - (-2,2))^\circ \text{C} = 193.888 \text{ Cal}$$

Pendinginan yang dibutuhkan untuk menurunkan udang pada titik bekunya (-2,2) adalah

$$Q_2 = m \cdot L = 8000 \text{ gr} \times 63 \text{ Cal/ gr} = 504.000 \text{ cal}$$

Sedangkan banyaknya pendinginan yang dibutuhkan untuk pembekuan lanjut udang adalah :

$$Q_3 = m \cdot CP \cdot (T_2 - T_3) \\ = 8000 \text{ gr} \times 0,44 \text{ Cal / gr}^\circ \text{C} \times (-2,2 - (-10)) = 27.456 \text{ Cal}$$

Total pendinginan untuk produk udang adalah : $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$Q = 193.888 + 504.000 + 27.456 = 725.344 \text{ K Cal.}$$

Sehingga beban pendinginan untuk produk udang selama (3,5) jam adalah :

$$q_1 = Q / 3,5 = 240,97 \text{ Watt}$$

b Beban pendinginan dari produk daging jenis hati adalah : banyaknya beban pendinginan yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur hati 3,5 jam dari waktu yang direncanakan :

$$Q_1 = m \cdot CP \cdot (T_1 - T_2) \\ = 8000 \text{ gr} \times 0,76 \text{ Cal / gr}^\circ \text{C} (30 - (-1,7))^\circ \text{C} = 192.736 \text{ Cal}$$

Banyaknya pendinginan yang dibutuhkan membekukan hati pada titik bekunya (- 1,7 °C) adalah

$$Q_2 = m \cdot L = 8000 \text{ gr} \times 55,8 \text{ Cal/ gr} = 446.400 \text{ cal}$$

Sedangkan banyaknya pendinginan yang dibutuhkan untuk pembekuan lanjut hati adalah :

$$Q_3 = m \cdot CP \cdot (T_2 - T_3)^\circ \text{C}$$

$$= 8000 \text{ gr} \times 0,51 \text{ cal / gr}^{\circ} \text{C} \times (-1,7 - (-10)) = 33.864 \text{ Cal}$$

Total pendinginan untuk produk udang adalah : $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$Q = 192.736 + 446.400 + 33.864 = 673 \text{ K Cal.}$$

Sehingga beban pendinginan untuk produk udang selama (3,5) jam adalah :

$$q_1 = Q / 3,5 = 223,58 \text{ Watt}$$

- c. Beban pendinginan dari produk daging ayam adalah : banyaknya beban pendinginan yang dibutuhkan untuk mendinginkan daging ayam selama 3,5 jam dari waktu yang direncanakan :

$$Q_1 = m \cdot CP \cdot (T_1 - T_2) \\ = 8000 \text{ gr} \times 0,79 \text{ Cal / gr}^{\circ} \text{C} (28 - (-2,8)) = 194.656 \text{ Cal}$$

Banyaknya pendinginan yang dibutuhkan membekukan daging ayam pada temperatur (-2,80C) adalah

$$Q_2 = m \cdot L = 8000 \text{ gr} \times 59 \text{ Cal / gr} = 472.000 \text{ cal}$$

Sedangkan banyaknya pendinginan yang dibutuhkan untuk pembekuan lanjut daging ayam adalah :

$$Q_3 = m \cdot CP \cdot (T_2 - T_3) \\ = 8000 \text{ gr} \times 0,42 \text{ cal / gr}^{\circ} \text{C} \times (-2,8 - (-10)) = 24,195 \text{ Cal}$$

Total pendinginan untuk produk udang adalah : $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$Q = 194.656 + 472.000 + 24,195 = 690,848 \text{ K Cal}$$

Sehingga beban pendinginan untuk produk udang selama (3,5) jam adalah :

$$q_1 = Q / 3,5 = 229,51 \text{ Watt}$$

Beban Pendinginan karena Perpindahan Panas dari Dinding

- a. Beban Pendinginan karena perpindahan panas dari dinding samping

Luas bidang dari keempat dinding samping dari freezer adalah :

$$A = 2 \times \{ (75 \times 50) + (75 \times 60) \} = 16.500 \text{ cm}^2 = 1,65 \text{ m}^2$$

Koefisien konduktivitas termal total : $U = 0,679 \text{ W / m}^2 \cdot ^{\circ}\text{k}$

Dan beban pendinginan untuk dinding adalah :

$$Q_1 = U \cdot A (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) = 0,679 \text{ w / m}^2 \cdot \text{k} \times 1,65 \text{ m}^2 \times (32 - (-15)) = 52,68 \text{ Watt}$$

- b. Beban Pendinginan untuk dinding bagian atas dari freezer :

bahan dan dimensi adalah sama dengan dinding samping sedangkan luas bidang atasnya adalah :

$$A = 50 \text{ cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 = 3000 \text{ cm}^2 = 0,3 \text{ m}^2$$

Koefisien konduktivitas termal total : $U = 0,679 \text{ W / m}^2 \cdot ^{\circ}\text{k}$

Dan beban pendinginan untuk dinding adalah :

$$Q_1 = U \cdot A (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) = 0,679 \text{ w / m}^2 \cdot \text{k} \times 0,3 \text{ m}^2 \times (32 - (-15)) = 9,57 \text{ Watt}$$

- c. Beban Pendinginan untuk dinding bagian bawah dari freezer :

$$A = 60 \text{ cm}^2 \times 50 \text{ cm}^2 = 3000 \text{ cm}^2 = 0,3 \text{ m}^2$$

Koefisien konduktivitas termal total : $U = 0,679 \text{ W / m}^2 \cdot ^{\circ}\text{k}$

Dan beban pendinginan untuk dinding adalah :

$$Q^1 = U \cdot A (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) = 0,679 \text{ w / m}^2 \cdot \text{k} \times 0,3 \text{ m}^2 \times (32 - (-15)) = 9,57 \text{ Watt}$$

- d. Perhitungan beban pendinginan karena kebocoran, dalam hal ini diantisipasi

atau diasumsikan sama dengan nol (0), karena pintu selama pendinginan dianggap tidak dibuka dan seluruh dinding dalam keadaan masih baik

Total beban pendinginan yang melalui dinding-dinding dari freezer adalah sebagai berikut :

$$q^1 = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 52,68 + 9,57 + 9,57 = 312,79 \text{ Watt}$$

Total beban pendinginan

Total beban pendinginan ini merupakan jumlah total dari beban pendinginan yang ada yaitu :

$$Q_1 = Q_1 (\text{udang}) + Q_1 (\text{dinding-dinding}) = 240,97 + 71,82 = 312,79 \text{ watt}$$

2.2. Perencanaan siklus sistem refrigerasi

Data Perhitungan

Data input : $Q_E = \text{Beban pendinginan} = 312,79 \text{ W}$

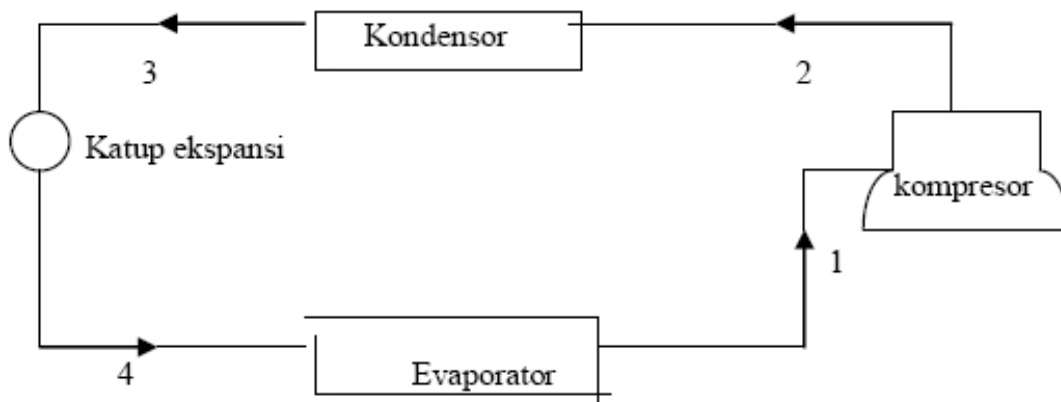
$T = \text{Temperatur akhir produk} = -10^\circ \text{ C}$

Data yang direncanakan :

$T_e = \text{temperature penguapan} = -24^\circ \text{ C}$

Proses siklus termodinamika yang terjadi :

- Proses 1 – 2
Merupakan proses didalam kompresor yang berlangsung secara adiabatik. Uap refrigeran setelah lewat dari evaporator akan menguap. Selanjutnya uap tersebut akan masuk kedalam kompresor untuk dikompresikan sehingga tekanan dan temperatur naik.
- Proses 2 – 3
Merupakan proses didalam kondensor yang berlangsung secara isobarik. Uap refrigeran yang keluar dari kondensor untuk didinginkan sehingga refrigeran yang berupa uap berubah menjadi cair. Apabila menggunakan air sebagai pendingin, maka setelah menyerap panas dari refrigeran air dipompakan masuk kedalam menara pendingin untuk didinginkan kemudian dialirkan lagi ke kondensor.
- Proses 3 – 4
Merupakan proses didalam katup ekspansi yang berlangsung secara isoentalpi. Refrigeran cair yang keluar dari kondensor dikabutkan dikatup ekspansi sehingga temperaturnya turun. Tujuan dari pengabutan ini adalah agar



refrigeran dapat mengalir ke pipa-pipa evaporator pada temperatur kerja yang dikehendaki.

- Proses 4 – 1
Merupakan proses didalam evaporator secara isobarik dimana refrigeran akan menyerap didalam ruangan sehingga refrigeran akan berubah menjadi uap pada tekanan rendah. Selanjutnya akan masuk kedalam kompresor. Siklus ini berjalan terus selama proses pendinginan.

Laju Masa Refrigeran

$$M = Q_e / (h_1 - h_4) = 312,79 / (340,875 - 248,884) = 3,400 \times 10^{-3} \text{ kg / s}$$

Daya Kompresor

Daya kompresor yang dibutuhkan untuk menggerakkan refrigeran dalam suatu refrigerasi :

$$W_c = M \cdot (h_2 - h_1) = 3,400 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \cdot (375.500 - 340.476) \text{ j/kg} = 0,157 \text{ HP}$$

Dimana : W_c = kerja kompresor (Watt)
 M = laju massa refrigeran (kg/s)
 h_1 = Enthalpy masuk, (kj/kg)
 h_2 = Enthalpy keluar (kj/kg)

Heat Rejection

Merupakan jumlah panas yang dibuang melalui kondensor

$$Q_c = M \cdot (h_2 - h_3) = 3,400 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \cdot (375.500 - 248.884) \text{ j/kg} = 430,4 \text{ W}$$

Coefisien of Performance (COP)

Suatu koefisien prestasi sistem :

$$\text{COP} = Q_e / W_c = 312,79 \text{ Watt} / 177,7 \text{ Watt} = 2,65$$

Dimana : Q_e = beban pendinginan (Watt)
 W_c = kerja kompresor (Watt)

Volume Flow per Ton

Volume flow perton atau laju volume refrigeran per kapasitas pendinginan (dalam satuan ton) dan dinyatakan $\text{ft}^3 / \text{min.ton}$

$$\begin{aligned} \text{Volume flow} &= \frac{V \times M}{\text{Kapasitas pendinginan}} \\ &= 0,204 \times 4,46 / 8,896 \cdot 10^2 \\ &= 10,24 \text{ ft}^3 / \text{min.ton} \end{aligned}$$

Dimana : V = Volume jenis refrigerasi pada inlet kompresor (ft^3/kg)

M = laju massa (kg/min)

3. Perencanaan Evaporator

3.1. Data Perhitungan

Data input

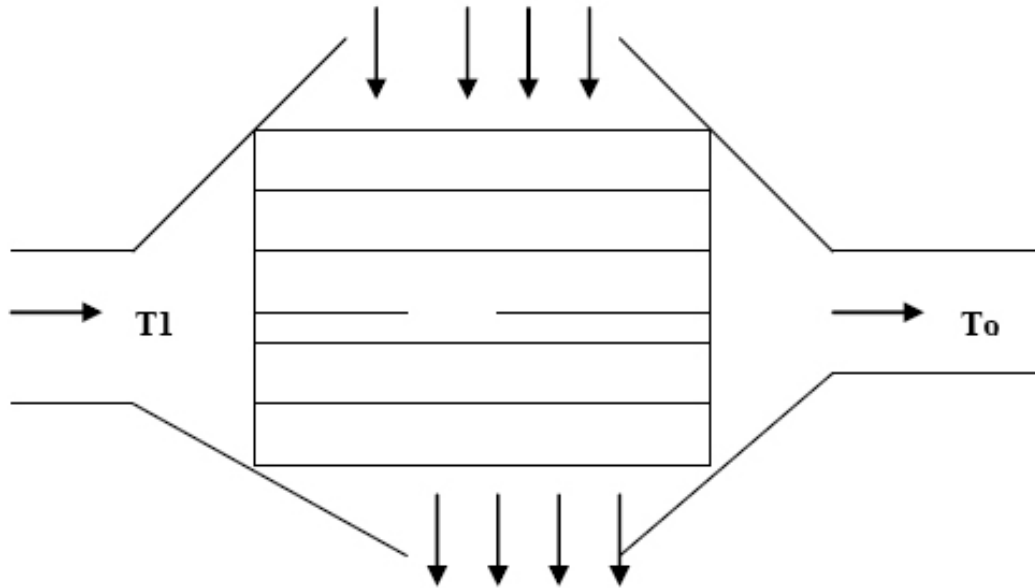
- Beban pendinginan total $Q_1 = 312,79 \text{ W}$
- Laju masa refrigerant, $m = 3,400 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$
- Temperatur refrigeran, $T_R = -24 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatur akhir produk = $T = -10 \text{ }^\circ\text{C}$

Data yang direncanakan :

- Diameter dalam pipa, $d_i = 3 \text{ mm}$
- Diameter luar pipa, $d_o = 5 \text{ mm}$
- Material pipa dari tembaga murni
- Jumlah barisan pipa yang tegak lurus aliran udara , $M = 7$
- Jumlah barisan pipa yang sejajar aliran udara , $N = 11$
- Jumlah pipa = 39 buah

3.2. Bentuk dan dimensi evaporator

Bentuk evaporator direncanakan Single pass, cross flow, Heat Exchanger with one fluid mixed and the other unmixed. Sedangkan susunan pipa-pipanya direncanakan tersusun secara silang (staggered). Dimana fluida udara menyeberangi luar pipa pipa sedangkan freonnya mengalir melalui dalam pipa.



3.3. Laju Volumetris udara

Temperatur udara pada kondisi awal $T_i = 24\text{ }^\circ\text{C}$, dan keluar pada uap penguap, $T_o = -15\text{ }^\circ\text{C}$. Sedangkan laju pendinginan total yang diperlukan freezer maksimum $q = 312,79\text{ Watt}$ dan ρ (massa jenis = $1,2424\text{ kg/m}^3$ dan CP (panas jenis) = $1006,6\text{ J/kg.k}$., sehingga laju sirkulasi udara yang diperlukan beban pendinginan tersebut dapat dicari.

$$q_1 = \rho \cdot CP \cdot (T_i - T_o) \cdot \psi$$

sehingga didapat $\psi = 6,41 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$

3.4. Luas Bidang Pendinginan

$$A = \Pi \cdot d_i \cdot L \cdot n = \Pi \cdot 3 \times 10^{-3}\text{ m} \times 0,45\text{ m} \times 39 = 165,4 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$$

Dimana : d_i = diameter dalam pipa (m)
 L = diameter luar pipa (m)
 n = jumlah pipa

3.5. Beda Temperatur rata-rata Log

Beda temperatur :

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T = 24\text{ }^\circ\text{C} - (-24\text{ }^\circ\text{C}) = 48\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T = -15\text{ }^\circ\text{C} - (-24\text{ }^\circ\text{C}) = 9\text{ }^\circ\text{C}$$

Dimana : T = temperatur refrigeran ($^\circ\text{C}$)
 T_{hi} = temperatur udara masuk ($^\circ\text{C}$)
 T_{ho} = temperatur udara keluar ($^\circ\text{C}$)

Beda rata-rata log untuk counter flow :

$$T_{LM,CF} = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)}{=} = \frac{(48\text{ }^\circ\text{C} - 9\text{ }^\circ\text{C}) / \ln (48\text{ }^\circ\text{C} / 9\text{ }^\circ\text{C})}{=} = 23,2978\text{ }^\circ\text{C}$$

Beda temperatur rata-rata log untuk cross flow

$$\Delta T_{LM} = F \cdot T_{LM,CF} = 0,95 \times 23,2978\text{ }^\circ\text{C} = 22,1329\text{ }^\circ\text{C}$$

3.6. Kemampuan Evaporator

Evaporator yang telah direncanakan dengan bahan dan dimensi mampu mentransver pendinginan sebesar

$$q_E = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T_{LM} = 90,4325\text{ w/m}^2 \cdot k \times 165,4 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2 \times 22,1329\text{ }^\circ\text{C} = 312,7\text{ Watt}$$

dimana : U_i = koefisien konveksi total ($w/m^2 \cdot k$)

A_i = Luas bidang pendinginan (m^2)

ΔT_{LM} = beda temperature rata-rata log ($^{\circ}C$)

3.7. Checking Evaporator

Berdasarkan perencanaan evaporator tersebut diatas, evaporator mampu menerima beban pendinginan 312,79 Watt. Sedangkan beban pendinginan yang harus diterima untuk kapasitas 8 kg dengan bahan ruangan almari yang direncanakan sebesar 312,79 watt dan laju volumetris (sirkulasi dalam ruangan) udara yang sama yaitu $6,41 \cdot 10^{-3} m^3 / s$ maka temperatur udara yang keluar dapat dicari sebagai berikut :

$$qE = \rho \cdot \psi \cdot CP \cdot (T_i - T_o)$$

$$312,79 = 1,2424 \times 6,41 \cdot 10^{-3} \times 1006,6 \times (24 - T_o)$$

$$T_o = -15,6462 \text{ } ^{\circ}C$$

Karena temperatur udara yang keluar evaporator masih dibawah temperatur produk (-10) maupun temperatur udara yang direncanakan (-15) maka perencanaan evaporator dapat direncanakan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan perencanaan evaporator pada freezer dengan kapasitas 8 kg diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan pesawat freezer khususnya komponen penguapannya (evaporator) untuk udang, daging dan jenis makanan lainnya dengan kapasitas 8 kg selama 3,5 jam diperlukan ruangan dengan dimensi 60 cm x 50 cm x 75 cm
2. Siklus pada sistim refrigerasi, temperatur pada evaporator -240 dan temperatur pada kondensor 500

dengan menggunakan refrigeran freon 12, diperlukan laju masa refrigeran $3.400 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$, daya kompresor 0,157 HP, Volume flow per ton 10,24 $ft^3 / \text{min.ton ref}$, pembuangan panas melalui kondensor 430,4 dan factor prestasi (coefisien of Performance / Cop) sebesar 2,65.

3. Perencanaan Evaporator digunakan bahan pipa dari tembaga sebanyak 39 buah dengan panjang 0,45 m dengan diameter luar dan dalam masing-masing adalah 5 mm dan 3mm, dimana susunan pipa-pipanya tersusun secara ulang (staggered). Sedang sistim penukar kalor digunakan sistim "single pass, Cross - flow, Heat Exchanger with one fluid mixed and the other unmixed". Dan mempunyai kemampuan menukar kalor pendinginan yang harus diterima evaporator sebesar 312,7 watt. Sedangkan beban pendinginan yang terima evaporator sebesar 312,79 Watt atau lebih kecil dari kapasitas yang direncanakan, sehingga evaporator yang direncanakan -150 berkurang menjadi -15,6462 0. Jadi waktu pembekuan yang sebenarnya lebih cepat dari yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. 1981. *Penyegaran Udara*. Surabaya: Prodyia {Paramitha.
- Daryanto. 1983. *Ikhtisar Praktis Teknik Pendingin*. Bandung: Tarsito
- Ichsani, Djatmiko. 1987. *Perpindahan Panas I*. Dikatat ITS. Surabaya
- Ichsani, Djatmiko. 1999. *Termodinamika Teknik II*. Dikatat ITS. Surabaya
- Nursuhud, Jati. 1997. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya
- Suherman Wahid . 1987. *Pengetahuan Bahan*. Diktat ITS. Surabaya
- W. F. Stoecker. Jerold W. Jones 1987. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Surabaya: Erlangga.