

Perencanaan Cold Storage Untuk Pengawetan Daging Sapi PT. Kepurun Pawana Indonesia

Roswati Nurhasanah

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : roswati@yahoo.com

Aris Sudarmadi

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstract

This study describes the analytical calculation of cold storage for preservation planning of beef in PT. Kepurun Pawana Indonesia (PT. KPI). Planning this cold storage will be addressed to the PT. KPI in Yogyakarta that one of his business is cattle farm. Because cattle results from this farm will be sold in the form of fresh beef. Therefore, these companies require cold storage for the storage of beef. Cold storage is intended to keep the quality of beef stays fresh, quality is maintained and not easily damaged or rotten. Cold storage planning begins by calculating the heat load of the product itself, followed by the calculation of the human load, load infiltration, load lighting and lighting loads. After that we can survey the price of machines such as evaporators, condensers, compressors and other equipment from the calculation that writers get. By designing the cold storage, is expected to help and solve the problem of PT. KPI itself in preserving beef before sale to consumers. Meat sales volume instability problems caused by market conditions can be overcome.

Keywords: cold storage, cold storage planning, preservation beef

1. PENDAHULUAN

Diantara beraneka ragam daging, daging sapi tetap menjadi pilihan utama karena beberapa pertimbangan. Walaupun memiliki harga yang tak murah, namun banyak orang yang tetap mengkonsumsi daging sapi. Disamping rasanya yang enak dan khas, kandungan gizi daging sapi pun terbilang kaya sehingga mampu memenuhi kebutuhan gizi manusia. Daging sapi mengandung protein dan lemak serta vitamin dan mineral dalam kadar yang cukup tinggi. Daging sapi membutuhkan cara pengawetan dengan pendinginan yang benar agar kandungan gizi yang terkandung dalam daging sapi tidak hilang ataupun berkurang, juga untuk memperlambat pertumbuhan bakteri yang mengakibatkan kerusakan sel makanan. Tanpa pendinginan daging sapi segar akan rusak dan mengalami pembusukan dalam waktu 1-2 hari. Hal ini akan mengakibatkan harga daging sapi akan turun bahkan sama sekali tidak laku. Untuk mengatasi masalah tersebut, biasanya para peternak memasukkan daging sapi ke dalam lemari es. Namun disini kita memberikan alternatif yang dapat dipergunakan yaitu dengan perencanaan pembuatan cold storage. Untuk itu

dibutuhkan cold storage dengan desain dan perancangan yang tepat.

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi hanya untuk perencanaan cold storage untuk mengawetkan daging sapi. Batasan perencanaan cold storage ini adalah untuk menyimpan daging sapi segar dengan kapasitas 750 kg/jam dikarenakan sapi yang akan dipotong sekitar 4-5 ekor dengan asumsi hanya daging saja yang akan didinginkan.

2. KAJIAN LITERATUR

Teori Dasar

Refrigerasi merupakan terapan dari ilmu perpindahan kalor dan termodinamika. Refrigerasi itu sendiri merupakan proses penyerapan kalor dari suatu lokasi tertentu dan pelepasan kalor tersebut akan selalu menggunakan fluida kerja yang disebut dengan *Refrigerant*. Dalam penggunaannya secara luas refrigerant dapat berfasa gas dan cair, refrigerant pada system pendingin ini mengalir melalui katup ekspansi dan selanjutnya menguap di coil evaporator. Di dalam penguapannya refrigerant mengabsorb kalor dari udara sekitar dan

akibatnya temperatur turun menjadi dingin. Agar dapat mengabsorb panas dari sekitarnya maka temperatur dari refrigerant harus lebih rendah dari temperature udara sekitarnya. Refrigerant yang menyerap kalor di evaporator akan mengalami pelekspansian di dalam compressor, refrigerant yang sudah di dalam fasa gas selanjutnya akan mengalami proses pendingin di kondensor, refrigerant yang sudah dalam fasa cair akan mengalami penurunan tekanan di dalam katup ekspansi.

Perpindahan Panas

Perpindahan panas melalui suatu bahan padat yang disebut peristiwa konduksi, menyangkut pertukaran energi pada tingkat molekuler. Perpindahan panas konveksi bergantung pada konduksi antara permukaan benda padat dengan fluida terdekat yang bergerak. Jadi masing-masing mekanisme perpindahan panas berbeda satu sama lainnya. Akan tetapi semuanya mempunyai karakteristik umum karena masing-masing tergantung pada temperatur dan dimensi benda.

Dalam system pengkondisian udara terdapat beberapa proses perpindahan panas karena pengaruh dari dua lingkungan yang berbeda temperatur, proses perpindahan yang terjadi yaitu : konduksi, konveksi, dan radiasi.

Konveksi

Proses perpindahan panas secara konveksi adalah merupakan perpindahan panas dari bagian suhu tinggi ke bagian suhu rendah dimana zat perantaranya ikut bergerak (media cair atau gas).

Konduksi

Proses perpindahan panas secara konduksi adalah merupakan perpindahan panas dari bagian suhu tinggi ke bagian suhu rendah di dalam suatu medium (padat, fluida dalam keadaan diam).

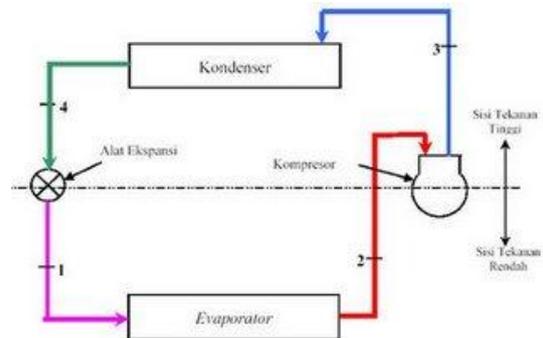
Radiasi

Proses perpindahan panas secara radiasi adalah merupakan perpindahan panas dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah, bila dipisahkan dalam ruang (bias ruang hampa) berkat fenomena analogi pancaran sinar dan gelombang elektromagnetik (radiasi matahari).

Siklus Thermodinamika

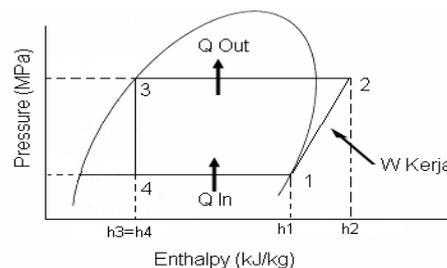
Secara prinsip untuk mendinginkan suatu benda, kita harus mendekatkan benda tersebut dengan sebuah permukaan atau fluida yang bertemperatur lebih rendah dari temperatur yang didinginkan. Dengan demikian energi dalam bentuk panas dapat dipindahkan dari benda ke permukaan atau fluida dingin, apabila tidak didinginkan fluida yang dipergunakan untuk dibuang maka haruslah disirkulasikan melalui system sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan pula pembuangan energi yang diambil dari benda yang diinginkan tadi kelilingkungan. Proses pengambilan energi tersebut terjadi di evaporator dengan laju perpindahan panas, sedangkan pembuangan energi dalam bentuk panas ke sekeliling tersebut terjadi di kondensor.

Dalam diagram entalpi – tekanan terdapat 4 (empat) proses dan terbagi dalam 2 (dua) daerah, yaitu daerah bertekanan tinggi dari outlet kompresor sampai dengan inlet katub ekspansi dan daerah bertekanan rendah dari outlet katub ekspansi sampai dengan inlet kompresor. Dalam pembagian daerah tekanan tinggi dan daerah tekanan rendah, dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. gambar siklus refrigersi kompresi uap

Siklus termodinamika dari sebuah mesin pendingin kompresi uap yang memiliki komponen-komponen utama dapat dilukiskan dalam diagram tekanan entalpi atau diagram temperature – entropi berikut :



Gambar 2. Diagram entlaphi-tekanan teoritis

Keterangan gambar:

- Proses (1-2) terjadi pada kompresor. Gas refrigerant yang keluar dari evaporator lalu masuk ke kompresor, sehingga terjadilah proses kompresi. Proses kompresi menyebabkan gas refrigerant tekanan dan temperatur menjadi naik.
- Proses (2-3) terjadi pada kondensor. Gas refrigerant yang memiliki tekanan dan suhu tinggi kemudian dikondensasikan sehingga menghasilkan refrigerant cair jenuh. Proses yang terjadi adalah pelepasan panas ke lingkungan. Proses kondensasi bekerja pada tekanan tetap.
- Proses (3-4) terjadi pada katup ekspansi. Di sini terjadi proses *throttling*. Proses *throttling* merupakan proses terjadinya penurunan tekanan pada entalpi konstan. Saat terjadi penurunan tekanan sebagian refrigerant cair berubah menjadi gas.
- Proses (4-1) terjadi pada evaporator. Di sini terjadi proses penguapan sehingga refrigerant berubah wujud dari cair menjadi gas yang dapat menyerap kalor udara ruangan.

Equipment Running Time

Kapasitas mesin pendingin umumnya dinyatakan dalam Btu per jam. Disisi lain total cooling load dihitung berdasarkan waktu 24 jam atau Btu per 24 jam. Dengan demikian dapat dijabarkan besarnya kapasitas dalam Btu/jam sebagai berikut :

$$Kapasitas\ mesin\ dalam\ Btu / jam = \frac{Total\ Cooling\ Load,\ Btu / 24\ jam}{Waktu\ operasi\ (jam)} \dots\dots\dots(1)$$

Kalor Konduksi Melalui Dinding

Kalor dari luar yang merambat secara konduksi melalui dinding per satuan waktu adalah sebagai berikut :

$$Q = (A)(U)(\Delta T) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- Q = kalor konduksi melalui dinding (Btu/jam)
- U = Overall Koefisien konduksi panas (Btu/jam,ft²,⁰F)
- ΔT = Selisih temperatur diluar dan didalam ruangan (⁰F)

Kalor Pergantian Udara

Kalor pergantian udara (air change load) dihitung sebagai berikut :

$$Air\ change\ load = (inside\ volume)(airchange)(0,075)(h_o - h_i) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- Air change load = Beban pergantian udara (Btu/jam)
- Inside volume = volume dalam dari cooling storage (ft³)
- Air change = jumlah pergantian udara dari tabel
- h_o = entalpi udara luar (Btu/lb)
- h_i = entalpi udara dalam ruangan (Btu/lb)

Kalor Produk

Bila produk (dalam hal ini daging) dari luar yang bertemperatur tinggi dimasukkan ke dalam ruangan dingin maka produk ini akan melepas kalornya dan menjadi beban mesin pendingin.

Kalor sensible produk yang didinginkan di atas titik beku

Kalor produk yang didinginkan diatas kondisi beku dihitung sebagai berikut :

$$Q = (m)(c)(\Delta T) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- Q = Jumlah kalor produk (Btu/jam)
- c = Panas spesifik dari produk diatas kondisi beku (Btu/lb,⁰F)
- ΔT = Selisih temperatur produk dan didalam ruangan (⁰F)

Kalor sensible air di dalam daging sapi

Kandungan air di dalam daging sapi dihitung sebagai berikut :

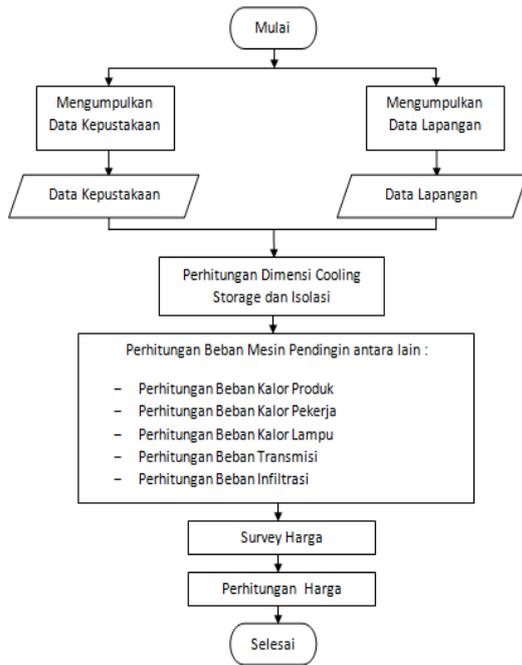
$$Q = (m)(c)(\Delta T)$$

Dimana :

- Q = Jumlah kalor produk (Btu/jam)
- c = Panas spesifik dari produk diatas kondisi beku (Btu/lb,⁰F)
- ΔT = Selisih temperatur produk dan didalam ruangan (⁰F)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dimulai dengan melakukan pengumpulan data di lapangan, kemudian melakukan perhitungan perancangan mesin pendingin, perancangan bangunan serta total biaya yang harus dikeluarkan untuk pembuatan dan pemasangannya, kemudian dilakukan pemasangan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

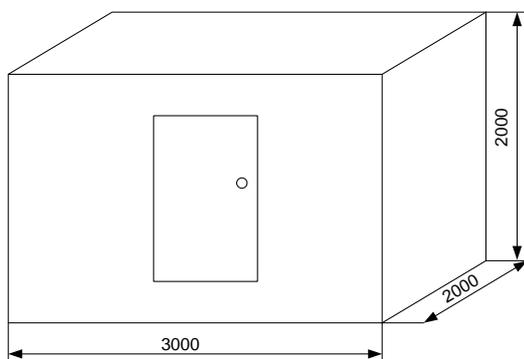
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Dimensi

Volume daging yang memerlukan penyimpanan yaitu sebesar 3,2 ft³/hari. Kemudian dimensi dalam diambil sebagai berikut :

- P = 3 m = 3000 mm = 9,8 ft
- L = 2 m = 2000 mm = 6,6 ft
- T = 2 m = 2000 mm = 6,6 ft

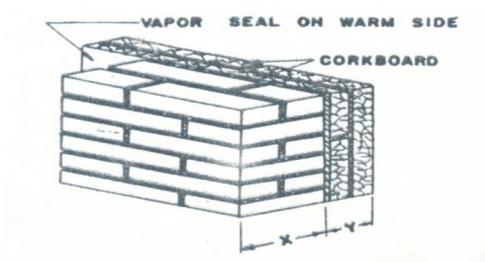
Jadi volume dalam menjadi $V = t \times p \times l = 6,6 \times 6,6 \times 9,8 = 427 \text{ ft}^3$



Pemilihan Bahan Dinding dan Isolasinya

Dinding dan isolasi dibuat seperti pada gambar dengan ketebalan sebagai berikut :

Bagian dalam dari ruangan dilapisi plat Aluminium dengan penguat :



Gambar 4.4 Heat Transmission Coefficient (U) For Cold Storage Rooms

Tebal batu bata 8 in (20 cm)
 Tebal corkboard 0,81 in (2 cm)
 Antara bata dan papan gabus diberi plastik sebagai penahan kebocoran uap air.

Dari susunan tersebut diperoleh :
 $U = 0,76 \text{ Btu/jam}^0 \text{ F ft}^2$ (tabel 15 lihat lampiran)

Perhitungan dimensi luar :
 Tebal dinding dan isolasi adalah : $t = 22 \text{ cm}$ (0,72 ft)
 Tinggi = $6,6 + 2 (0,72) = 8,04 \text{ ft}$
 Lebar = $6,6 + 2 (0,72) = 8,04 \text{ ft}$
 Panjang = $9,8 + 2 (0,72) = 11,24 \text{ ft}$

Data Untuk Perhitungan Beban Kalor

Dari daftar pustaka didapat tabel sebagai berikut :

$$Q_a = m_a \cdot C_{pa} \cdot (t_{ca} - t_{RM}) = (809)(1)(70 - 36) = 27506 \frac{\text{Btu}}{24 \text{ jam}} = 1146 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

Tabel 1. Storage Requirements and Properties Of Perishable Products

Commodity	Storage temperature, °F	Relative humidity, %	Approximate storage life ^a	Water content, %	Highest freezing, °F	Specific heat above freezing, ^b Btu/lb · °F	Specific heat below freezing, ^b Btu/lb · °F	Latent heat Btu/lb
Meat (beef)								
Beef, fresh, average	28 to 34	88 to 95	1 week	62 to 77	28 to 29	0.70 to 0.84	0.39 to 0.43	88 to 110
Beef carcass								
Choice, 60% lean	32 to 39	85 to 90	1 to 3 weeks	49	29	0.61	0.35	70
Prime, 54% lean	32 to 34	85	1 to 3 weeks	45	28	0.58	0.34	64
Sirloin cut (choice)	32 to 34	85	1 to 3 weeks	56		0.66	0.37	80
Round cut (choice)	32 to 34	85	1 to 3 weeks	67		0.50	0.40	96
Dried, chipped	50 to 59	15	6 to 8 weeks	48		0.60	0.34	69
Liver	32	90	5 days	70	29	0.77	0.41	100
Veal, lean	28 to 34	85 to 95	3 weeks	66		0.74	0.40	94
Beef, frozen	-10 to 0	90 to 95	6 to 12 months					

Diketahui :

- Panas jenis daging diatas suhu pembekuan

$$C_p = 0,61 \frac{Btu}{lb^{\circ}F}$$

- Temperatur ruang cooled storage yang yang sesuai adalah
- 32° s/d 39° F(0° s/d 4° C) untuk pengawetan 1 s/d 3 minggu (dalam hal ini daging mengalami pendinginan (cooling) saja). Diambil rata rata 36° F (2° C).
- RH ruangan cooled storage adalah 85 s/d 90 %
- Temperature daging sapi saat masuk ruang pendingin diasumsikan sama dengan suhu diluar ruangan
- T= 80,6° F (27° C)
- Panas laten daging sapi = 70 $\frac{BTU}{lb}$ (tabel di atas)
- Kandungan air di dalam daging sapi = 49% (tabel di atas)

Jadi :

$$\begin{aligned} \text{Berat daging kering} &= 0,51 \times 750 \text{ kg} \\ &= 383 \text{ kg (844 lb)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat kandungan air} &= 750 - 383 \\ &= 367 \text{ kg (809 lb)} \end{aligned}$$

Perhitungan Beban Kalor Daging

Dalam hal ini dihitung sebagai cooler.

a. Kalor sensibel daging :

$$Q_p = m_d \cdot C_{pd} \cdot (t_{OA} - t_{RM}) = (844)(0,61)(80,6 - 36) = 22962 \frac{Btu}{24 \text{ jam}} = 957 \frac{Btu}{jam}$$

b. Kalor sensible air :

$$\begin{aligned} \text{Jadi kalor sensibel daging} &= 957 + 1146 = \\ &= 2103 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan Kalor Pekerja

Diasumsikan hal-hal sebagai berikut :

- Ada 1 orang pekerja laki – laki dalam satu hari bekerja 1 jam
- Kondisi ruangan 36° F DB dan 85 % RH
- Kondisi luar 80,6° F db dan 85 % RH

Dari tabel 30 (lihat lampiran) didapat untuk suhu ruangan 36° F DB maka beban pekerja adalah :

- Kalor sensible pekerja = 600 Btu/jam
- Kalor laten pekerja = 110 Btu/jam

Perhitungan Beban Lampu

- 1 buah lampu neon @ 18 W menyala selama 1 jam per hari

$$\diamond Q = 18 \times 1,25 \times 3,4 = 76,5 \frac{Btu}{24 \text{ jam}} = 3 \frac{Btu}{jam}$$

Perhitungan Beban Transmisi

Diketahui :

- Tinggi t = 2 m = 6,6 ft
- Lebar l = 2 m = 6,6 ft
- Panjang p = 3 m = 9,8 ft

Luas dinding luar :

$$\begin{aligned} A &= (P \times L)^2 + (P \times T)^2 + (L \times T)^2 - \\ &\quad (\text{luas pintu}) \\ &= (9,8 \times 6,6)^2 + (9,8 \times 6,6)^2 + (6,6 \times 6,6)^2 - \\ &\quad (19,4) \\ &= 326 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$Q_s = A \times U \times \Delta t = 326 \times 0,76 \times (80,6 - 36) = 11050 \frac{Btu}{24 \text{ jam}} = 460 \frac{Btu}{jam}$$

Tahanan thermal untuk masing-masing bagian yaitu :

- Alumunium $R_{al} = 1/U = 1/117 = 0,00086$
- Tebal corkboard pintu diambil 1,57 in (4 cm)

$$R_{\text{corkboard}} = 3,7 \times 1,57 = 5,9$$

$$R_{\text{film luar}} = R_{\text{film dalam}} = 0,68$$

$$R_{\text{total}} = 5,9 + 2(0,00086) + 2(0,68) = 7,3$$

$$U_{\text{total}} = 1 / R_{\text{total}} = 1 / 7,3 = 0,14$$

$$Q_{\text{pintu}} = 19,4 \times 0,14 \times (80,6 - 36) = 121 \text{ Btu/24 jam} = 5 \text{ Btu/jam}$$

$$\diamond \text{ Sehingga beban transmisi total} = 460 + 5 = 465 \text{ Btu/jam}$$

Perhitungan Beban Infiltrasi

Diketahui :

- Tinggi pintu = 1,8 m
 - Lebar pintu = 1 m
- $$\begin{aligned} \text{area pintu} &= A = 1,8 \text{ m}^2 = 19,4 \text{ ft}^2 \\ \text{infiltrasi} &= A \times \text{satuan infiltrasi} = \\ &= 0,8 \times 19,4 = 16 \frac{cfm}{24 \text{ jam}} = 0,7 \frac{cfm}{jam} \end{aligned}$$

Satuan infiltrasi sesuai tabel 23 (lihat lampiran) adalah 0,8 cfm / ft²

Diketahui :

- Kondisi kamar 36° F DB dan 85 % RH
- Kondisi luar 80,6° F DB dan 77° F WB
- W ruangan = 30 grains per lb
- W luar = 135 grains per lb

Sehingga perhitungan beban infiltrasi adalah :

$$\begin{aligned} \text{❖ } Q_S &= 1,08 \times 0,7 \times (80,6 - 36) = 34 \frac{BTU}{jam} \\ \text{❖ } Q_L &= 0,68 \times 0,7 \times (135 - 30) = 50 \frac{BTU}{jam} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Beban Total

No.	Jenis Beban	SH (Btu/jam)	LH (Btu/jam)
1	Beban Kalor Daging	2103	
2	Beban Kalor Pekerja	600	110
3	Beban Kalor Lampu	3	
4	Beban Transmisi	465	
5	Beban Infiltrasi	34	50
	Total	3205	160

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya

No	Peralatan	Kapasitas (Btu/jam)	Keterangan
1	Kompresor	510	
2	Kondensor	3960	
3	Evaporator	3450	

Kemudian untuk faktor keamanan maka kapasitas dari mesin dapat dipilih menjadi :

No	Peralatan	Kapasitas (Btu/jam)	Kapasitas (Kcal/jam)
1	Kompresor	1000	252
2	Kondensor	7000	1764
3	Evaporator	6000	1512

Tabel 4. Biaya Total

No	Kelompok biaya	Jumlah (Rp)	Keterangan
1	Mesin dan komponen	34.300.000	
2	Bangunan sipil dan Isolasi	39.412.000	
3	Peralatan listrik	15.000.000	
4	Transportasi/pembangunan	20.000.000	
	Total	108.712.000	

Kesimpulan

1. Dimensi total cold storage ini memiliki panjang 3000 mm, lebar 2000 mm, dan tinggi 2000 mm dengan kapasitas daging sapi yang akan didinginkan sebanyak 750 kg/hari.
2. Kapasitas dari mesin-mesin pendinginnya yang di dapat yaitu kompresor sebesar 252 Kcal/jam, kondensor sebesar 1764 Kcal/jam, dan evaporator sebesar 1512 Kcal/jam.
3. Dari perhitungan harga yang telah dilakukan, maka untuk pembangunan cold storage ini diperlukan dana sebesar Rp. 108.712.000.

Daftar Pustaka

Carrier, *Handbook Of Air Conditioning System Design*, Mc Graw Hill Book Company.

Rizwan. *Perencanaan Lemari Pendingin (Cold Storage) Untuk Pengawetan Ikan*. Jakarta. 2007

Stoecker, Wilbert F; Jones, Jerold W, terjemahan Supratman Hara, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Edisi Kedua, Erlangga, 1988