

# KAJI EKSPERIMENTAL POLA PENDINGINAN IKAN DENGAN ES PADA COLD BOX

Rikhard Ufie<sup>\*)</sup>, Stevy Titaley<sup>\*\*)</sup>, Jaconias Nanlohy<sup>\*\*\*)</sup>

## Abstract

The research was conducted to study the characteristic of chilling of fish by cubic ice of (5x5x5) cm in a cold box of (42x34x20) cm. Results of the research point out that refrigeration process will be stopped around 22°C in 25 minutes, 16°C in 25 minutes, and 11°C in 45 minutes, for cooling by 6, 12, and 18 cubics ice, respectively. Based on the rate of ice melting was developed practical graphics to correlate variation of time and keeping temperature with height of salt water in cold box and variation of amount of cubic ice and keeping temperature with weight of fish.

**Keyword:** Cold box, chilling, fish, characteristic.

## I. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Salah satu cara yang ditempuh para nelayan dan pedagang untuk memperlambat proses pembusukan ikan hasil tangkapan adalah dengan merendam ikan dalam air laut yang didinginkan dengan bongkahan es di dalam cold box.

Pada proses pendinginan ini, laju dan temperatur pendinginan yang dicapai tergantung pada ukuran dan jumlah bongkahan es yang akan melebur dengan menyerap kalor yang berasal dari air laut sebagai media pendingin, ikan hasil tangkapan dan juga yang berasal dari lingkungan sekitar.

Perpindahan panas berlangsung secara *transient* dengan lapisan batas yang bergerak (*moving boundary condition*) akibat mengecilnya luas permukaan es dengan meleburnya es.

Dalam penelitian ini karakteristik peleburan es dalam cold box dengan bongkahan es tersebut dikaji secara eksperimental. Dengan mengetahui karakteristik pendinginan yang terjadi maka pola pendinginan ikan dapat diatur untuk menjamin kondisi pengawetan ikan sesuai yang diinginkan.

### 2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui pengaruh ukuran dan jumlah bongkahan es terhadap laju penurunan temperatur air laut, laju peleburan es dan temperatur akhir pendinginan yang dapat dicapai.
- Mengetahui hubungan antara volume air, temperatur pendinginan dan waktu pendinginan sesuai ukuran dan jumlah bongkahan es yang digunakan.

- Mengetahui hubungan antara berat ikan yang hendak didinginkan, temperatur penyimpanan dan jumlah bongkahan es yang diperlukan.

### 3. Manfaat Penelitian

- Diperolehnya model kajian terhadap pola pendinginan ikan untuk berbagai ukuran cold box, massa ikan serta ukuran dan jumlah bongkahan es.
- Diperolehnya berbagai grafik yang dapat dijadikan sebagai pedoman praktis pendinginan ikan pada cold box dengan menggunakan air laut sebagai media pendingin.

### 4. Batasan penelitian

- Kajian dilakukan pada cold box berukuran (0,42x0,34x0,20) cm untuk pendinginan air laut dengan es berbentuk kubus dengan panjang sisi rata-rata 5cm.
- Pendinginan dilakukan dengan mula-mula menurunkan temperatur air laut pada harga tertentu barulah disusul dengan pendinginan ikan pada temperatur dimaksud.

## II. TINJAUAN TEORITIS

### 1. Perhitungan Beban Pendingin

#### a. Beban Pendinginan Air Laut

Beban pendinginan air laut berupa kalor sensibel yang harus dipindahkan untuk mendinginkan air laut dari temperatur awalnya ke temperatur pendinginan dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE Handbook, 1990):

$$Q_w = m_w c_w (T_{w1} - T_{w2}) \quad (1)$$

<sup>\*)</sup> Rikhard Ufie; Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatti

<sup>\*\*\*)</sup> Stevy Titaley; Dosen Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Unpatti

<sup>\*\*\*\*)</sup> Jaconias Nanlohy; Dosen Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti

dimana:

$Q_w$  = kalor sensibel air laut yang dipindahkan, kJ  
 $m_w$  = massa air laut, kg  
 $c_w$  = kalor spesifik air laut di atas pembekuan, kJ/(kg. K)  
 $T_{wl}$  = temperatur awal air laut, °C  
 $T_{wf}$  = temperatur pendinginan air laut, °C  
 Beban pendinginan air laut yang dinyatakan dalam laju perpindahan panas selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_w = \frac{Q_w}{3600 \times t_w} \quad (2)$$

dimana:

$q_w$  = beban pendinginan air laut, kW  
 $t_w$  = waktu pendinginan air laut, jam.

### b. Beban Pendinginan Ikan

Kalor sensibel yang harus dipindahkan untuk mendinginkan ikan dari temperatur awal ke temperatur penyimpanan, dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE Handbook, 1990):

$$Q_f = m_f c_f (T_{f1} - T_{f2}) \quad (3)$$

dimana:

$Q_f$  = kalor sensibel ikan yang harus dipindahkan, kJ  
 $m_f$  = massa ikan, kg  
 $c_f$  = kalor spesifik ikan di atas pembekuan, kJ/(kg. K)  
 $T_{f1}$  = temperatur awal ikan, °C  
 $T_{f2}$  = temperatur penyimpanan ikan, 0°C

Beban pendinginan ikan yang dinyatakan dalam laju perpindahan panas selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_f = \frac{Q_f}{3600 \times n_f} \quad (4)$$

dimana:

$q_f$  = beban pendinginan ikan, kW  
 $n_f$  = selang waktu pendinginan ikan, jam.

### c. Beban Transmisi

Beban transmisi kalor yang dinyatakan dalam laju aliran kalor melalui dinding *cold box*, dapat dihitung dengan persamaan (ASHRAE Handbook, 1990):

$$q_{trans} = U A \Delta T \quad (5)$$

dimana:

$q_{trans}$  = laju transmisi kalor melalui dinding *cold box* kW  
 $A$  = luas bidang perpindahan panas, m<sup>2</sup>  
 $\Delta T$  = beda antara temperatur udara luar dan temperatur di dalam cold box, °C  
 $U$  = koefisien perpindahan kalor menyeluruh dari dinding komposit yang dihitung dengan persamaan:

$$U = \frac{1}{1/f_o + \sum_{i=1}^n x_i / k_i + 1/h_i} \quad (6)$$

di mana:

$f_o$  = konduktivitas film dinding luar, W/(m<sup>2</sup>.K)  
 $x_i$  = tebal lapisan ke i, m  
 $k_i$  = konduktivitas lapisan ke i, W/(m.K)  
 $h_i$  = koefisien perpindahan panas konveksi dinding dalam, W/(m<sup>2</sup>.K)

### 2. Perhitungan Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan pada *cold box* tergantung pada jumlah kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan dan peleburan es dari temperatur awalnya hingga temperatur air yang terbentuk, yang dapat dihitung dari persamaan (Moran dan Shapiro, 1990):

$$Q_{ice} = m_{ice} [c_{i1} (T_{i1} - T_f) + h_{sf} + c_{i2} (T_f - T_{w2})] \quad (7)$$

dimana:

$Q_w$  = kalor sensibel air laut yang dipindahkan, kJ  
 $m_w$  = massa air laut, kg  
 $c_{i1}$  = kalor spesifik es di bawah pembekuan, kJ/(kg K)  
 $c_{i2}$  = kalor spesifik es di atas pembekuan, kJ/(kg.K)  
 $T_{i1}$  = temperatur awal es, °C  
 $T_f$  = temperatur peleburan es, °C  
 $T_{if}$  = temperatur akhir air yang terbentuk, °C

Kapasitas pendinginan oleh es yang dinyatakan dalam laju perpindahan kalor selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan:

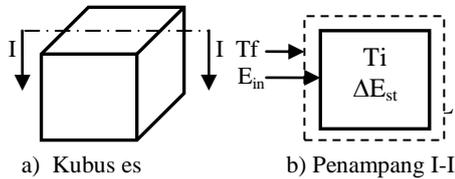
$$q_{ice} = \frac{Q_{ice}}{3600 \times t} \quad (8)$$

dimana:

$q_{ice}$  = laju perpindahan kalor pada es, kW  
 $t$  = waktu peleburan/pencairan es, jam

**3. Fenomena Peleburan Es (ice melting)**

Fenomena peleburan es dapat didekati menurut skema pendekatan massa atur (*control massa*) sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Massa Atur Proses Peleburan Es

Sesuai Hukum I Termodinamika, jumlah energi masuk = jumlah energi yang tersimpan, sehingga diperoleh (Incropera dan De Witt, 1990, Moran dan Shapiro, 1990):

$$E_{in} = \Delta E_{st} \tag{9}$$

$$q_{in} \cdot dt = [cp(T_i - T_f) + h_{sf}] \cdot dm_{ice} \tag{10}$$

atau

$$q_{in} = \frac{dm_{ice}}{dt_m} [cp(T_i - T_f) + h_{sf}] \tag{11}$$

dimana

$q_{in}$  = laju perpindahan kalor memasuki volume atur, W

$m$  = massa es, kg

$t_m$  = waktu peleburan es, s

$cp$  = kalor spesifik es di bawah titik beku, kJ/(kgK)

$T_i$  = temperatur dalam es, °C

$T_f$  = temperatur peleburan es, °C

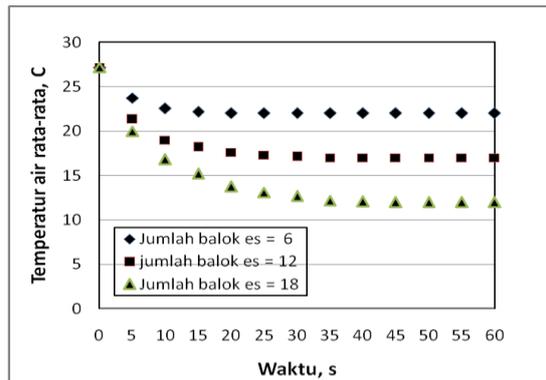
$h_{sf}$  = kalor laten peleburan es, kJ/kg

Ruas kanan Persamaan (11) menunjukkan besar laju perpindahan kalor dari lingkungan yang hendak didinginkan sedangkan ruas kiri Persamaan (11) menunjukkan laju peleburan es.

**III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

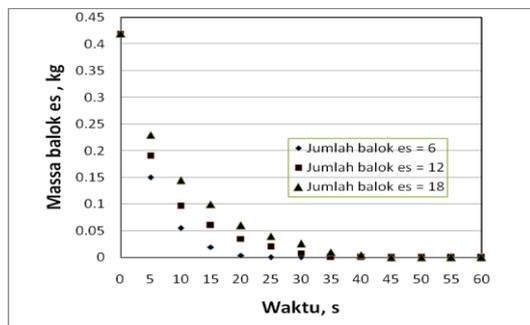
**1. Laju Penurunan Temperatur dan Peleburan Es dalam Cold Box.**

Hasil Pengukuran penurunan temperatur air laut dan perubahan massa es dalam cold box ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Pengukuran dilakukan setiap selang waktu 5 menit selama 60 menit untuk jumlah kubus es masing-masing 6, 12, dan 18 kubus.



Gambar 2. Penurunan Temperatur Air Laut dalam Cold Box

Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa semakin meningkatnya jumlah kubus es semakin meningkat laju penurunan temperatur air laut dalam cold box, disebabkan oleh meningkatnya masa total es yang mencair. Jumlah es kubus yang lebih sedikit akan menyebabkan terjadinya proses peleburan yang lebih cepat tetapi dengan penurunan temperatur yang lambat. Pada jumlah es sebanyak 6 buah, proses pendinginan terhenti pada selang waktu 25



Gambar 3. Pengurangan Massa Kubus Es Akibat Proses Peleburan Es dalam Cold Box

menit dan temperatur mencapai ± 22°C saat mana es telah mencair seluruhnya.

Dengan terleburnya seluruh kubus es, temperatur air laut dalam cold box kemudian konstan dan selanjutnya akan meningkat hanya akibat adanya kalor transmisi yang berasal dari lingkungan. Untuk jumlah es kubus sebanyak 12 proses pendinginan terhenti pada selang waktu ± 35 menit dan temperatur mencapai ± 17°C, sedangkan untuk es kubus sebanyak 18 buah proses pendinginan terhenti pada selang waktu ± 45 menit dan temperatur mencapai ± 12°C.

Selang waktu peleburan kubus es maupun temperatur akhir proses pendinginan air laut dalam cold box cenderung berubah secara linier dengan bertambahnya jumlah kubus es. Sesuai kecenderungan ini, maka dengan menambah jumlah kubus es temperatur pendinginan akhir yang dapat dicapai akan semakin rendah dan waktu akhir peleburan es kubus akan semakin lama dipertahankan,

Tabel 1. Perubahan Waktu Peleburan Es dan Temperatur Akhir Air laut dalam Cold Box sesuai Penambahan Jumlah Es Kubus Es

Jumlah Kubus Es	Massa Es total kg	Waktu Peleburan, menit	Temp. Akhir Air Lut, C	Laju peleburan es rata-rata ( $\Delta m/\Delta t$ )
6	2.52	25	21,7	2.52
12	5.04	35	16,3	5.04
18	7.56	45	10,9	7.56
24	10.08	55	5,48	10.08
30	12.6	65	0,05	12.6
32	13.44	68	0	13.44

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, batas penurunan temperatur terendah, yakni 0°C akan tercapai jika kubus es yang ditambahkan berkisar 32 buah, dengan waktu peleburan akhir berkisar 68 menit.

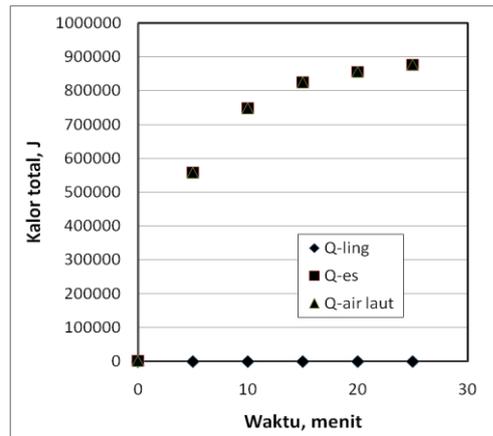
## 2. Perpindahan Kalor pada Proses Pendinginan dalam Cold Box

Dengan mengikuti kecenderungan perubahan penurunan temperatur dan peleburan massa es, diperoleh hasil perhitungan neraca perpindahan kalor pada sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

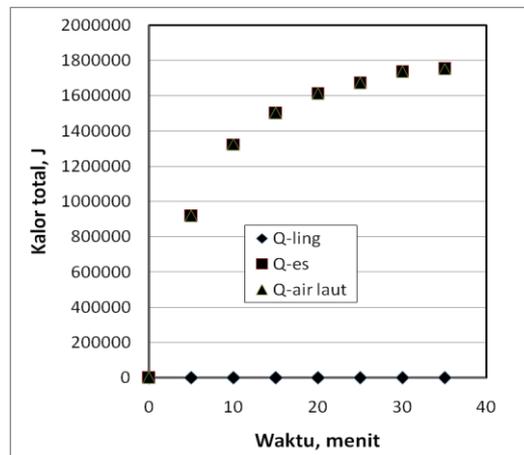
Tabel 2 Hasil Perhitungan Perpindahan Kalor pada Proses Pendinginan dalam Cold Box

Jumlah Kubus	Q-es total J	Q-air laut J	Q-ling J
6	875952.00	875844.83	107.17
12	1751904.00	1751688.06	215.94
18	2627856.00	2627560.31	295.69

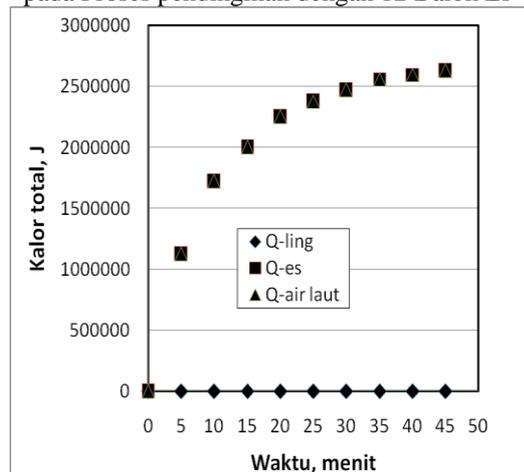
Grafik perubahan perpindahan kalor untuk pendinginan dengan kubus es sebanyak, 6, 12, dan 18 buah selanjutnya ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4. Grafik Perpindahan Kalor total pada Proses pendinginan dengan 6 Balok Es



Gambar 5. Grafik Perpindahan Kalor total pada Proses pendinginan dengan 12 Balok Es



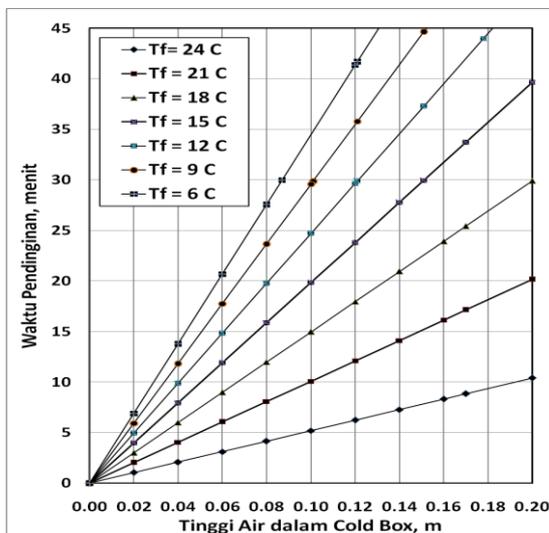
Gambar 6 Grafik Perpindahan Kalor total pada Proses pendinginan dengan 18 Balok Es

Terlihat bahwa laju perpindahan kalor dari air laut ke es kubus meningkat pada awal proses

peleburan tetapi kemudian melambat sebelum akhirnya berhenti ketika es seluruhnya mencair.

### 3. Pola Pendinginan Air Laut (Brine) pada Cold Box

Berdasarkan besar laju peleburan rata-rata massa es maka dapat dihasilkan grafik pola pendinginan air laut dalam cold box untuk masing-masing jumlah es kubus yang dapat digunakan yang menghubungkan variabel waktu pendinginan sebagai fungsi volume air dalam cold box dan temperatur akhir pendinginan ( $t = f(V, T_f)$ ).



Gambar 7. Grafik Pola Pendinginan Air Laut dalam Cold Box untuk Pendinginan dengan 6 Kubus Es

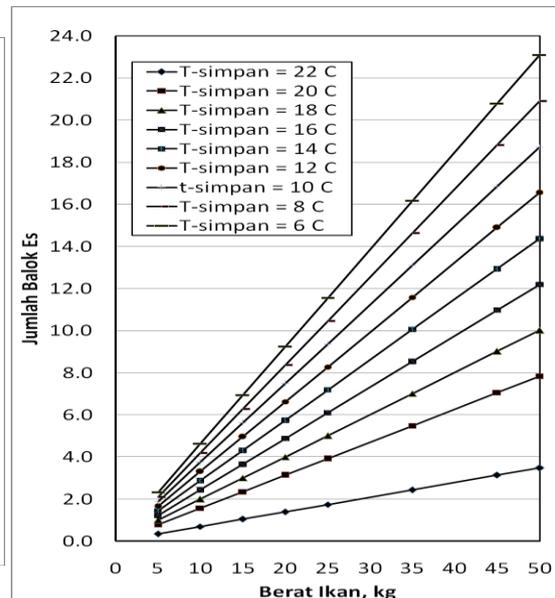
Grafik untuk pendinginan ikan dengan menggunakan 6 kubus es, ditunjukkan pada Gambar 7. Dengan mempertimbangkan kegunaannya secara praktis, variabel volume diwakili oleh tinggi air dalam cold box. Sumbu waktu ( $t$ ) dibatasi sesuai waktu pencairan total es kubus, yakni 25 menit. Perpotongan tiap garis temperatur konstan dengan batas atas waktu pendinginan ini sekaligus menunjukkan batas penurunan temperatur yang mungkin dicapai untuk setiap jumlah volume air.

Grafik sejenis dapat pula dikembangkan untuk berbagai jumlah kubus es yang digunakan. Dengan bantuan grafik yang diperoleh maka secara praktis dapat diketahui jumlah kubus es yang harus digunakan besar temperatur pendinginan air laut yang bisa dicapai pada setiap selang waktu pendinginan

untuk besar volume air yang diwakili oleh ketinggian air dalam cold box.

### 5. Pola Pendinginan Ikan pada Cold Box

Proses pendinginan ikan pada cold box dipengaruhi pertama-tama oleh temperatur awal air sebagai media pendingin dalam cold box. Beban kalor pada proses pendinginan ikan dengan demikian hanya berasal dari kalor sensibel ikan yang perlu diserap dari ikan untuk mencapai temperatur penyimpanan dan beban transmisi kalor dari lingkungan sekitarnya.



Gambar 8 Grafik Kebutuhan Jumlah Kubus Es sesuai Berat Ikan dan Temperatur Penyimpanan

Grafik kebutuhan jumlah kubus es untuk berbagai variasi berat ikan dan temperatur penyimpanan ditunjukkan pada Gambar 8. Perhitungan dilakukan dengan mengabaikan transmisi kalor dari lingkungan yang sesuai hasil perhitungan hanya berkisar <0.01% dari total beban pendinginan.

Dari Gambar 8, terlihat bahwa semakin rendah temperatur penyimpanan yang dikehendaki, maka semakin banyak kubus es yang harus digunakan. Jumlah es yang dibutuhkan di sini adalah jumlah minimum yang akan mencair seluruhnya untuk mempertahankan temperatur penyimpanan sesuai beban kalor yang berasal dari ikan yang disimpan.

Untuk cold box yang terisolasi baik, maka dengan mencairnya seluruh bongkahan es temperatur penyimpanan akan akan meningkat tetapi dalam waktu yang lama. Untuk

mengantisipasi adanya beban kalor yang masuk maka tetap diperlukan tambahan kubus es, yang akan mencair akibat adanya beda temperatur antara air laut dalam cold box dan temperatur peleburan es ( $0^{\circ}\text{C}$ ) dan menghasilkan dampak pendinginan yang diperlukan untuk mempertahankan temperatur penyimpanan yang dikehendaki.

#### IV. PENUTUP

##### 1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapatlah disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Semakin meningkatnya jumlah kubus es semakin meningkat laju penurunan temperatur air laut dalam cold box dan semakin rendah temperatur akhir yang dicapai.
2. Jumlah es kubus yang lebih sedikit akan menyebabkan terjadinya proses peleburan yang lebih cepat tetapi dengan penurunan temperatur yang lambat.
3. Untuk jumlah es kubus sebanyak 6 buah, proses pendinginan terhenti pada selang waktu 25 menit dan temperatur mencapai  $22^{\circ}\text{C}$ ; untuk jumlah es kubus sebanyak 12 proses pendinginan terhenti pada selang waktu  $\pm 35$  menit dan temperatur mencapai  $\pm 16^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk es kubus sebanyak 18 buah proses pendinginan terhenti pada selang waktu  $\pm 45$  menit dan temperatur mencapai  $\pm 11^{\circ}\text{C}$ .
4. Laju peleburan es rata-rata untuk jumlah kubus es sebanyak 6, 12, dan 18 masing-masing diperoleh 2,52 kg/s, 5,04 kg/s dan 7,56 kg/s sedangkan laju penurunan temperatur air laut dalam cold box masing-masing diperoleh sebesar  $0,217^{\circ}\text{C/s}$ ,  $0,310^{\circ}\text{C/s}$  dan  $0,362^{\circ}\text{C/s}$  dan cenderung bersifat linier.
5. Sesuai laju peleburan es rata-rata (dm/dt) yang diperoleh telah dapat dikembangkan Grafik hubungan antara volume air yang diwakili oleh tinggi air dalam Cold Box, temperatur pendinginan, dan waktu pendinginan.
6. Telah dapat pula dikembangkan grafik hubungan jumlah kubus es yang diperlukan, berat ikan yang hendak didinginkan dan Temperatur Penyimpanan yang dikehendaki.

##### 2. Saran

Untuk mendapatkan gambaran pola pendinginan yang lebih lengkap perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk berbagai variasi ukuran dan jumlah bongkahan es.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Handbook, **Refrigeration: Systems and Applicatins**, SI Ed., American Society of Heating, Refrigerating and Air Contioning Enggineer, Inc. Atlanta. Atlanta, 1990
- Incropera, Frank P. and David P. De Witt, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 3<sup>rd</sup> Ed. John Wiley & Sons. New York, 1990.
- Moran, Michael J. and Howard N. Shapiro, **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**, 2<sup>nd</sup> Ed, John Wiley & Sons. New York, 1993.

