

# Studi Perencanaan *Jacketed Storage System* Memanfaatkan CO<sub>2</sub> Cair Sebagai Refrigeran

Bravo Yovan Sovanda, Alam Baheramsyah, dan Taufik Fajar Nugroho

Jurusan Teknik Sistem Permesinan Kapal, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

Email : alam@its.ac.id dan taufikfajar@its.ac.id

**Abstrak**—Yang Salah satu faktor yang mempengaruhi harga jual ikan adalah kualitas dan kesegaran ikan. Perlakuan dan penanganan terhadap ikan baik selama pelayaran ataupun pasca panen menjadi hal yang sangat penting. Ikan harus terjaga pada suhu yang tepat agar kualitas ikan tetap terjaga dengan baik. Cara yang paling mudah dilakukan ketika penyimpanan adalah dengan mendinginkan ikan. Dari kesekian banyak teknik pendinginan ikan, metode pendinginan menggunakan *crushed ice* adalah yang paling sering digunakan. Namun, sejatinya, metode ini dinilai kurang efektif karena sifat es basah yang tergolong cepat mencair. Sehingga perlu adanya inovasi dalam pendinginan ikan. Salah satunya adalah dengan menggabungkan CO<sub>2</sub> cair dengan es basah. Selain itu, juga perlu memodifikasi palka ikan (*cold storage*). Dalam penelitian ini, didapatkan jumlah es basah yang lebih sedikit, yaitu 3,9 ton es dan 274,5 kg CO<sub>2</sub> cair selama empat hari pelayaran, untuk 15 ton ikan. Biaya yang dikeluarkan per bulan juga jauh lebih hemat, yaitu mencapai 54,41 % jika dibandingkan dengan metode pendinginan hanya menggunakan es basah.

**Kata Kunci**—Yang *Cold storage, crushed ice, es basah, CO<sub>2</sub> cair, Pendinginan ikan*

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan wilayah laut yang besar. Kondisi geografis seperti ini menjadikan Indonesia memiliki potensi perikanan yang cukup besar. Pada tahun 2002, produksi perikanan tangkap tercatat sebesar 4.378.495 ton (Irianto dan Giyatmi 2009).

Namun, dalam beberapa tahun terakhir banyak sekali ditemukan kasus *overfishing*. Yang dimaksud *overfishing* disini adalah penangkapan ikan dalam jumlah yang sangat besar di daerah

tidak jauh dari pantai. Akibatnya, saat ini nelayan harus berlayar lebih jauh lagi dalam mencari ikan. Tidak lagi seperti dulu dalam mencari ikan di perairan tidak terlalu jauh dari garis pantai. Otomatis nelayan membutuhkan waktu sehari-hari dalam mencari ikan sampai kembali ke darat. Ikan yang telah ditangkap, pada umumnya akan disimpan pada ruang muat (palka) kapal. Sehingga lama penyimpanan ikan tersebut tidak cukup sehari atau dua hari tetapi sehari-hari.

Selama ini, kebanyakan nelayan mendinginkan hasil tangkapannya dengan cara yang masih konvensional. Menggunakan es basah dinilai cara yang sederhana dan murah. Pada dasarnya, pendinginan ikan ini dimaksudkan untuk menghambat metabolisme bakteri. Sehingga pertumbuhan bakteri tersebut terhambat, dan ikan tidak menjadi rusak dan busuk.

Permasalahan yang ditemui adalah bagaimana menyimpan ikan dalam waktu yang lama agar tetap segar sampai kembali ke darat. Sedangkan dalam kenyataannya, es basah yang digunakan oleh nelayan tidak mampu bertahan lama. Es basah yang berbentuk balok tersebut cepat mencair. Apabila tanpa pendinginan, maka ikan tidak awet dan bisa menjadi rusak. Selain cepat mencair, hal tersebut mengakibatkan berkurangnya volume ruang muat untuk menampung ikan.

Teknologi yang banyak dipakai di lapangan adalah *Refrigerated Sea Water* (RSW). Sistem ini memanfaatkan air laut sebagai media pendingin. Evaporator yang melekat pada dinding palka akan mendinginkan air laut. Setelah mencapai suhu tertentu, maka ikan dimasukkan ke dalam palka. Sistem ini dinilai efektif ketika ikan yang akan disimpan berukuran besar, seperti ikan tuna. Permasalahan yang terjadi adalah ketika sistem ini diaplikasikan pada ikan hasil tangkapan yang berukuran lebih kecil. Ikan tersebut memang segar, namun kadar garamnya melebihi batas normal. Selain itu, sistem RSW dinilai cukup berat dan membutuhkan biaya besar, baik *initial cost, operational cost*, maupun *maintenance cost*.

Salah satu inovasi yang bisa dikembangkan adalah membuat desain *jacketed storage system* dengan memanfaatkan CO<sub>2</sub> cair sebagai refrigeran. Harapannya adalah waktu pendinginan yang dihasilkan lebih lama. Selain itu, jika dibandingkan dengan sistem RSW, dari segi biaya lebih murah dan lebih ringan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari teori dasar dari berbagai referensi guna menunjang pengerjaan skripsi ini. Referensi didapatkan dari buku ajar, artikel ilmiah, jurnal internasional, paper, atau pun wawancara secara langsung mengenai berbagai hal yang berhubungan dengan skripsi ini.

Pengumpulan Data

Dilakukan kegiatan survey ke wilayah objek yang dituju dalam hal ini kapal ikan tradisional untuk mendapatkan data pendukung pengerjaan skripsi ini, antara lain data kapal.

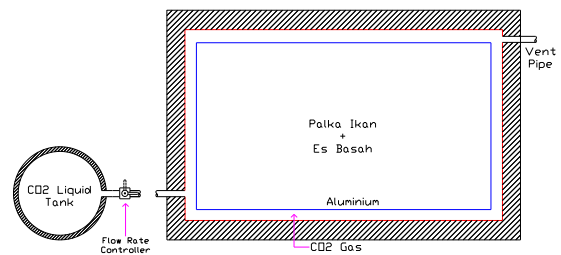
Berikut data kapal yang didapat :

Lama Pelayaran : 4 hari

Engine

1 Unit Main Engine

Type : Dongfeng Diesel Engine  
 Daya : 155 kW  
 Dimensi Ruang Muat  
 Panjang : 380 cm  
 Lebar : 150 cm  
 Tinggi : 170 cm  
 Jumlah : 3 Buah  
 Media Pendingin  
 Type : Es basah  
 Jumlah : 5000 kg/storage



Gambar 1. Rancangan Jacketed Storage System

**Perancangan Jacketed Storage System**  
 Melakukan perancangan dan modifikasi palka ikan dengan tambahan liquid CO<sub>2</sub> storage tank. Dinding palka ikan dimodifikasi sehingga terjadi perpindahan panas dan mencapai suhu yang diinginkan.

III. ANALISA DATA

A. Penentuan Es Basah

Dalam desain cold storage ini, juga menggunakan es basah sebagai pendinginan awal. Penggunaan es basah juga dinilai memiliki efek positif. Jika tanpa es basah di dalam cold storage, maka dengan suhu yang cukup rendah, bisa menyebabkan satu ikan dengan yang lainnya saling menempel (rekat). Sehingga, perlu diketahui terlebih dahulu berapa banyak es basah yang diperlukan. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa kalor yang dihasilkan oleh ikan sampai mencairkan es basah. Penentuan jumlah es basah bisa dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$Q_{ikan} = m L$$

dimana :

- m : massa es basah (kg)
- L : kalor laten es basah (336 kJ/kg)

Sehingga :

$$Q_{ikan} = m L$$

$$436800 \text{ kJ} = m \cdot 336 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{436800}{336} = m$$

$$1300 = m$$

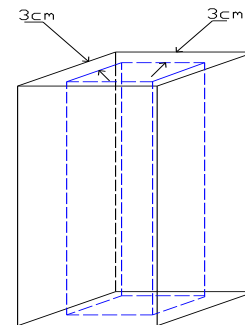
Perhitungan Beban Kalor

Beban pendingin dapat didefinisikan sebagai suatu beban yang dihasilkan oleh sumber energi panas yang nantinya dapat mempengaruhi kapasitas sistem pendingin. Beban sumber energi panas berasal dari beban produk, beban infiltrasi, dan beban transmisi. Beban produk disini dihasilkan oleh kalor dari ikan, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

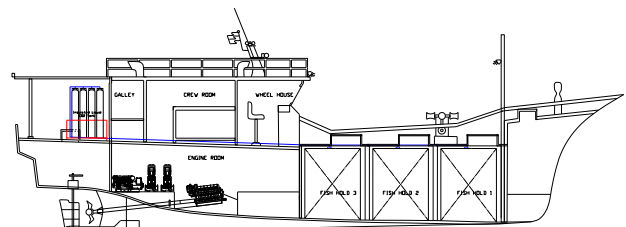
$$Q_{ikan} = m_{ikan} \times C_{ikan} \times (T_a - T_b)$$

dimana :

- Q<sub>ikan</sub> : Beban panas yang dilepaskan oleh ikan (kJ)
- m<sub>ikan</sub> : Massa ikan (kg)
- C<sub>ikan</sub> : Kalor spesifik ikan (kJ/kg<sup>o</sup>K)



Gambar 2. Modifikasi Palka Ikan



Gambar 3. Perencanaan peletakan Pipa dan Pemesinan

- T<sub>a</sub> : Temperatur awal ikan sebelum didinginkan (K)
- T<sub>b</sub> : Temperatur akhir ikan setelah didinginkan (K)

Dari hasil survey yang telah dilakukan, diketahui bahwa massa ikan yang didinginkan untuk setiap palka sebesar 5000 kg. Suhu awal pada ikan adalah 28<sup>o</sup>C, sedangkan suhu akhir setelah pendinginan adalah sebesar 2<sup>o</sup>C. Sehingga, beban kalornya adalah :

$$Q_{ikan} = 5000\text{kg} \times 3.36 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K} \times (301.15\text{K} - 275.15\text{K})$$

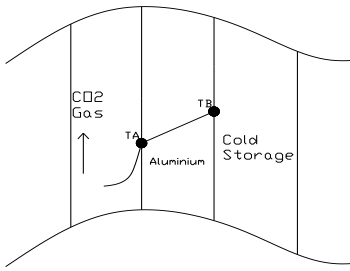
$$Q_{ikan} = 436800 \text{ kJ}$$

Suhu Dinding Aluminium

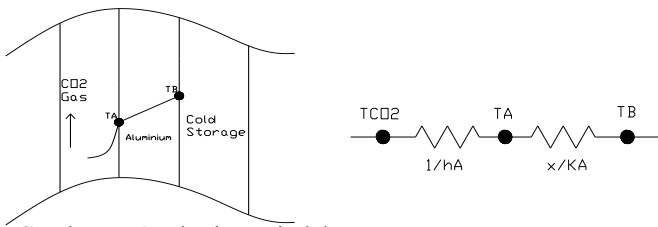
Storage System yang direncanakan adalah storage yang memiliki beberapa lapisan-lapisan. CO<sub>2</sub> yang mengalir dalam void space adalah CO<sub>2</sub> dalam fasa gas. CO<sub>2</sub> ini memiliki temperatur -80<sup>o</sup>C dan bersentuhan langsung dengan dinding aluminium. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 4.

Sehingga perhitungan temperatur dinding dapat diselesaikan dengan menggunakan rumus sebagai berikut, yaitu :

$$\frac{Q}{t} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Gambar 4. Lapisan pada cold storage



Gambar 5. Analogi Perpindahan Panas

dimana :

- Q : Beban Kalor (kJ)
- t : Waktu pendinginan (s)
- k : Konduktivitas termal (W/m°C)
- A : Luas Area (m<sup>2</sup>)
- ΔT : Beda temperatur (°C)
- Δx : Ketebalan Plat (m)

sehingga :

$$\frac{436800 \text{ kJ}}{3600 \text{ s}} = 202 \text{ W/m}^2 \cdot 2,45 \text{ m}^2 \cdot \frac{(2 - TA)C}{0,03 \text{ m}}$$

$$121333 \text{ w} = 164,97 (2 - TA) \cdot 10^2$$

$$121333 \text{ w} = (329,9 - 164,97 TA) \cdot 10^2$$

$$16497 TA = (32990 - 121333)$$

$$TA = -\frac{88343}{16497}$$

$$TA = -5,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Perpindahan Kalor Menyeluruh**

Perpindahan panas menyeluruh merupakan gabungan dari proses konduksi yang terjadi pada logam (aluminium) dan konveksi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 5.

Perpindahan panas menyeluruh bisa ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

dimana :

- ΔT : Beda Temperatur
- Rtotal : Tahanan termal menyeluruh

Untuk mendapatkan nilai berapa besarnya kalor, maka harus melakukan perhitungan mengenai tahanan termal menyeluruh, yaitu sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{h \cdot A} + \frac{\Delta x}{k \cdot A}$$

$$R = \frac{1}{0,0162 \times 2,45} + \frac{3 \times 10^{-2}}{202 \times 2,45}$$

$$R = \frac{10^3}{3,06 \times 2,45} + \frac{3 \times 10^{-2}}{202 \times 2,45}$$

$$R = 25,157$$

Sehingga :

$$q = -\left(\frac{-80 - (-2)}{25,15}\right)$$

$$q = 1,4 \text{ w}$$

**Laju Alir Massa CO<sub>2</sub>**

Laju aliran massa CO<sub>2</sub> sebanding dengan kebutuhan panas yang terjadi akibat proses konduksi dan konveksi. CO<sub>2</sub> yang tersedia harus mampu mengatasi beban panas tersebut. Sehingga, laju aliran massa bisa dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut, yaitu :

$$q = m_{CO_2} \cdot \Delta h_{CO_2}$$

dimana :

- Δh : Beda Entalpi CO<sub>2</sub> (kJ/kg)
- m : Laju aliran massa CO<sub>2</sub> (kg/s)
- t : Waktu pendinginan (s)

Sehingga :

$$q = m_{CO_2} \cdot \Delta h_{CO_2}$$

$$1,4 \text{ w} = m_{CO_2} \cdot (727,7 - 722,4) \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{1,4 \text{ j/s}}{5,3 \text{ kJ/kg}} = m_{CO_2}$$

$$0,00026 \text{ kg/s} = m_{CO_2}$$

$$0,95 \text{ kg/h} = m_{CO_2}$$

Jika pelayaran dilakukan selama 4 hari, maka jumlah CO<sub>2</sub> yang harus tersedia adalah sebesar 274,5 kg.

**Analisa Ekonomis**

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan di lapangan, maka didapatkan hasil sebagai berikut, yaitu :

- Massa CO<sub>2</sub> cair/botol = 25 kg
- Harga CO<sub>2</sub> cair/botol = Rp 85.000 sampai Rp 90.000,00

Biaya yang harus dikeluarkan oleh nelayan guna mencukupi kebutuhan CO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut

Biaya Operational CO<sub>2</sub> = Jumlah botol x Harga per botol

$$\text{Biaya Operational CO}_2 = 11 \text{ botol} \times \text{Rp}85.000,00$$

$$\text{Biaya Operational CO}_2 = \text{Rp} 935.000,00$$

Selain menggunakan CO<sub>2</sub>, dalam perancangan *jacketed storage system* ini juga menggunakan es basah sebanyak 1300 kg untuk setiap palka. Karena ada tiga buah palka ikan, maka jumlah es basah yang harus disediakan adalah sebesar 3900 kg. Dimana es dijual dengan harga per balok Rp 9000,00 dan setiap baloknya memiliki berat sebesar 25 kg. Sehingga nelayan harus menyediakan es balok sebanyak 156 buah dengan harga Rp 1.404.000,00

Jumlah total biaya operasional untuk empat hari adalah penjumlahan antara biaya kebutuhan CO<sub>2</sub> dan biaya kebutuhan es basah. Sehingga jumlah biaya operasionalnya adalah sebesar Rp 2.339.000,00

Biaya modifikasi *jacketed storage system* meliputi pengadaan *elbow 90°*, *elbow 45°*, *tee connector*, *butterfly valve*, *flow rate controller*, *pipe insulation*, *carbon steel pipe*, biaya instalasi. Total biaya modifikasi yang harus dikeluarkan adalah sebesar 15.456.800,00. Biaya modifikasi palka ikan bisa diangsur selama 10 bulan, sehingga biayanya sebesar Rp 1.545.680,00. Dan biaya operasional campuran CO<sub>2</sub> cair-es dalam satu bulan sebesar Rp 17.920.000,00

Sedangkan jika menggunakan es basah sebagai pendingin dan menjaga temperatur agar konstan di level 2°C, butuh sebesar 5200 kg es untuk setiap palka. Karena kapal yang ditinjau memiliki 3 buah palka ikan, maka butuh 15600 kg es. Karena setiap balok es adalah 25kg, maka nelayan harus menyediakan sebanyak 624 balok es. Besar biaya yang harus disediakan oleh nelayan adalah sebesar Rp 5.616.000,00. Dalam satu bulan, maka menghabiskan biaya sebesar Rp 39.312.000,00

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Dalam perancangan ini, dilakukan modifikasi pada palka ikan. Untuk itu, membutuhkan beberapa komponen sebagai penunjang agar sistem tersebut bisa berjalan dengan maksimal. Komponen tambahan meliputi pipa (hose), pipe insulation, flow rate controller, CO<sub>2</sub> liquid storage tank, , vent pipe, plat aluminium, elbow 90°, elbow 45°, tee connector, dan butterfly valve .

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka jumlah es basah yang diperlukan lebih sedikit, yaitu hanya 1300kg/storage dan juga CO<sub>2</sub> Cair sebanyak 274,5kg/storage dalam 4 hari.

Dengan perancangan ini, maka suhu bisa dijaga konstan pada kondisi 2°C. Hal ini jauh lebih efektif dibandingkan hanya menggunakan es basah.

Biaya per bulan yang harus dikeluarkan oleh nelayan jika menggunakan campuran CO<sub>2</sub>-es basah adalah sebesar 17.920.000,00. Ini menunjukkan lebih hemat 54,4% dibandingkan dengan penggunaan es basah saja yang mencapai Rp 39.312.000,00.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan dan

semangat selama pengerjaan skripsi ini. Semoga Tuhan yang Maha Esa membalas kebaikan anda semua dan senantiasa memudahkan dalam segala urusan. Amin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Holman, J.P. 1997. "Perpindahan Kalor", Penerbit Erlangga, Jakarta
- [2] Geankoplis, Christie J. 1993. "Transport Processes and Unit Operations", Prentice-Hall, Inc, United States of America
- [3] Stoecker, Wilbert F. 1998. "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw-Hill companies, Inc, United States of America
- [4] Ilyas, Sofyan. 1983. "Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan, Teknik Pendingin Ikan," CV. Paripurna, Jakarta
- [5] Aziz, Alwi Asy'ari. 2012. "Desain Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional Dengan Memanfaatkan Es Kering", Tugas Akhir S-1, Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya
- [6] Sayogyo, Adi. 2006. "Studi Media Pendingin Ikan Pada Kapal Ikan Tradisional", Tugas Akhir S-1, Teknik Sistem Perkapalan, Surabaya