

## Pengaruh Dimensi Pipa Kapiler dan Massa Refrigeran yang Digunakan Terhadap Unjuk Kerja Mesin Refrigerasi Evaporator Ganda

**Matheus M. Dwinanto, Hari Rarindo, dan Verdy A. Koehuan**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui, Kupang, NTT, 851000

Email : m2\_dwinanto@yahoo.com

### **ABSTRAK**

Penanganan saat pengangkutan ikan memegang peranan penting dan merupakan bagian yang tak terpisahkan untuk memperoleh nilai jual ikan yang maksimal dalam proses pemasaran. Ikan laut merupakan komoditas yang cepat mengalami pembusukan akibat penurunan tingkat kesegaran pada suhu kamar. Penyebab utamanya adalah kegiatan bakteri pembusuk yang terdapat dalam tubuh ikan, lingkungan hidup dan wadah penyimpanan yang berkontak langsung dengan ikan. Salah satu teknik penanganan untuk menghambat kegiatan bakteri adalah menurunkan temperatur ikan dengan menggunakan media pendingin untuk mempertahankan kesegaran ikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh dimensi pipa kapiler (panjang dan diameter dalam) dan massa refrigeran yang digunakan terhadap unjuk kerja mesin refrigerasi evaporator ganda *single stage system* dengan refrigeran yang digunakan adalah R-134a. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memvariasikan dimensi pipa kapiler dan massa refrigeran yang digunakan sehingga diketahui unjuk kerja mesin refrigerasi evaporator ganda di mobil pengangkut ikan. Dimensi pipa kapiler yang digunakan adalah  $L = 1\text{ m}$ ,  $ID = 0,2\text{ mm}$ ;  $L = 1\text{ m}$ ,  $ID = 0,4\text{ mm}$ ;  $L = 0,75\text{ m}$ ,  $ID = 0,2\text{ mm}$ ; dan  $L = 0,75\text{ m}$ ,  $ID = 0,4\text{ mm}$ . Massa refrigeran yang digunakan adalah 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 kg dengan putaran kompresor 1000 rpm. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa temperatur evaporasi terendah dapat dicapai dengan penggunaan pipa kapiler kedua (PK2) dengan dimensi  $L = 1\text{ m}$  dan  $ID = 0,4\text{ mm}$  sedangkan temperatur evaporasi tertinggi dicapai pada penggunaan pipa kapiler ketiga (PK3) dengan dimensi  $L = 0,75\text{ m}$  dan  $ID = 0,2\text{ mm}$ ; namun dengan penggunaan PK3 akan menghasilkan kerja kompresi yang paling rendah, dampak refrigerasi yang paling tinggi, dan koefisien prestasi (COP) yang paling tinggi.

**Kata kunci :** pipa kapiler, massa refrigeran, evaporator ganda

### **Pendahuluan**

Ikan laut merupakan komoditas yang cepat mengalami pembusukan akibat penurunan tingkat kesegaran pada suhu kamar. Penyebab utamanya adalah kegiatan bakteri pembusuk yang terdapat dalam tubuh ikan, lingkungan hidup dan wadah penyimpanan yang berkontak langsung dengan ikan. Salah satu teknik penanganan untuk menghambat kegiatan bakteri adalah menurunkan suhu ikan dengan menggunakan media pendingin untuk mempertahankan kesegaran ikan. Teknik penanganan seperti ini telah banyak dilakukan, akan tetapi usaha tersebut sangat tergantung pada kemampuan media pendingin yang digunakan untuk mempertahankan stabilitas suhu ikan selama penanganan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan mesin refrigerasi (mesin pendingin) evaporator ganda (kotak pendingin ganda yang masing-masing dililiti koil evaporator) yang berfungsi untuk menjaga kesegaran ikan dari jenis ikan berukuran kecil dan ikan berukuran besar. Teknologi mesin refrigerasi evaporator ganda ini akan diterapkan di mobil *pick up* pengangkut ikan, dengan asumsi awal dapat mempertahankan suhu pendinginan dan pembekuan selama waktu distribusi untuk menurunkan serta

mempertahankan stabilitas suhu ikan sesuai persyaratan kesegaran yang dibutuhkan. Penelitian ini akan lebih mendalamai kompleksitas variabel yang mempengaruhi penanganan ikan pada waktu distribusi untuk melengkapi kekurangan atau kelemahan sistem lama (yaitu penggunaan *ice chest* dan es curah) dengan melibatkan kajian tentang pengkondisian suhu pendingin pada desain kotak pendingin dengan analisa korelasi waktu distribusi terhadap suhu pendingin yang dibutuhkan ikan dan media pendingin, serta kajian pengaruh beban kalor mobil *pick up*, dan lingkungan (intensitas musim panas di pulau Timor yang cukup tinggi) terhadap suhu pendinginan dan pembekuan dalam kotak pendingin untuk mempertahankan stabilitas kesegaran ikan. Penggunaan evaporator ganda bertujuan untuk menempatkan ikan berukuran kecil (misalnya ikan kembung, ikan tembang, dan ikan tuna mata besar), dan ikan berukuran besar (misalnya ikan cakalang, ikan tongkol, dan ikan garagahing) di masing-masing kotak pendingin, sehingga pendistribusian dan pemasarannya akan lebih mudah. Penanganan saat pengangkutan ikan memegang peranan penting dan merupakan bagian yang tak terpisahkan untuk memperoleh nilai jual ikan yang

maksimal dalam proses pemasaran. Umumnya ada beberapa faktor yang mempengaruhi penanganan tersebut antara lain media pendingin, alat angkut, pengelompokan ikan, jenis wadah, waktu perjalanan dan kondisi iklim lingkungan daerah setempat. Oleh sebab itu, penelitian tentang penanganan ikan telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya, Enie, dkk (1993) melakukan penelitian pengawetan ikan segar menggunakan es kering. Junianto (2003) menganalisis pengaruh penambahan garam pada es dan jenis kemasan terhadap karakteristik kesegaran ikan kembung (*restrellinger sp*) yang tidak habis terjual selama penyimpanan. Prasetyo (1993) mengkaji kemasan dingin untuk transportasi udang hidup secara kering. Setyowati (1995) mempelajari tingkat mortalitas lobster hijau (*panulirus homarus*) dalam kemasan dingin dengan bahan pengisi serbuk gergaji dan koran sebagai pembungkus. Suryaningrum, dkk (1994) menganalisis pengaruh penurunan suhu bertahap terhadap aktivitas dan sintasan lobster hitam (*panulirus penicullatus*) selama transportasi sistem kering. Sedangkan penelitian tentang mesin refrigerasi kompresi uap, Hosoz (2005) melakukan studi perbandingan prestasi mesin refrigerasi siklu kompresi uap pada mesin refrigerasi satu tingkat dan sistem kaskada (*cascade refrigeration system*), dengan menggunakan R-134a sebagai fluida kerja. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kaskada memiliki COP yang lebih tinggi untuk setiap kapasitas refrigerasi yang dihasilkan dibandingkan dengan sistem satu tingkat. Sedangkan kapasitas refrigerasi yang dihasilkan oleh sistem kaskada lebih tinggi dari kapasitas refrigerasi sistem satu tingkat, untuk setiap peningkatan suhu evaporasi. Gerlach dan Newell (2001) melakukan pengujian prestasi lemari pendingin evaporator ganda yang berlainan suhunya, yaitu *fresh food evaporator* dan *freezer evaporator*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa evaporator yang mendinginkan udara untuk suatu ruangan tempat penyimpanan daging atau suatu produk makanan, akan mengeringkan udara tersebut sehingga produk yang ada di dalamnya akan mengering (*dehydrated*). Sedangkan *freezer evaporator* akan membekukan produk pangan tersebut. Evaporator yang mendinginkan udara akan diselimuti es, yang menghambat aliran udara. Untuk mengatasi kelemahan ini, dipasang katup penurun tekanan setelah evaporator yang bersuhu lebih tinggi sedangkan COP akan meningkat dengan meningkatnya suhu lingkungan untuk semua variasi pengujian yang digunakan. Hal ini disebabkan insulasi yang digunakan tidak cukup untuk mengurangi kerugian kalor ke udara lingkungan. Nasruddin, dkk (2009) menganalisa unjuk kerja sistem refrigerasi dual paralel evaporator dengan variasi putaran motor DC kompresor hermetik

tunggal, menyimpulkan bahwa penggunaan dua buah evaporator yang memiliki temperatur yang berbeda dengan hanya menggunakan satu kompresor dapatlah dicapai dengan menggunakan komponen tambahan EPR (*Evaporator Pressure Regulator*) yang berfungsi untuk menjaga tekanan evaporator yang berbeda sehingga akan menghasilkan temperatur yang juga berbeda. Putaran kompresor sangat mempengaruhi tercapainya waktu set-point di dalam sistem serta tekanan suction dan discharge di kompresor. Sementara itu, daya total yang dibutuhkan oleh kompresor yang putarannya lebih tinggi tidak selalu lebih besar dibandingkan putaran rendah. Penggunaan kompresor dengan motor DC yang terintegrasi di dalam kompresor akan lebih menghemat energi. Hal ini disebabkan, tidak hilangnya efisiensi dari energi yang digunakan akibat banyaknya komponen tambahan seperti inverter. Yuliono, dkk (2010) melakukan penelitian tentang optimalisasi pipa kapiler mesin pendingin *autocascade* pada variasi komposisi campuran refrigeran hidrokarbon, menyimpulkan bahwa refrigeran hidrokarbon dapat digunakan pada sistem refrigerasi *autocascade* sebagai pengganti refrigeran baik dari jenis CFC maupun HFC. Temperatur evaporasi terendah didapat pada komposisi refrigeran dalam fraksi massa dengan perbandingan 45% butana/ 35% etana/ 20% metana. Pada percobaan sistem *autocascade* dengan berbagai komposisi refrigeran, temperatur evaporasi terendah didapatkan pada saat digunakan pipa kapiler dengan panjang 6 meter sehingga panjang kapiler 6 meter merupakan panjang optimal pada sistem refrigerasi *autocascade* ini.

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memvariasikan dimensi pipa kapiler dan massa refrigeran yang digunakan sehingga diketahui unjuk kerja sistem refrigerasi dual paralel evaporator. Dimensi pipa kapiler yang digunakan ada 4 ukuran, yaitu : pipa kapiler pertama (PK1) L = 1 m, ID = 0,2 mm; pipa kapiler kedua (PK2) L = 1 m, ID = 0,4 mm; pipa kapiler ketiga (PK3) L = 0,75 m, ID = 0,2 mm; dan pipa kapiler keempat (PK4) L = 0,75 m, ID = 0,2 mm. Refrigerannya adalah R134a dengan massa refrigeran yang digunakan adalah 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 kg dengan putaran kompresor 1000 rpm.

Setelah mesin refrigerasi selesai dibuat, maka dipasang alat ukur tekanan, temperatur, dan putaran kompresor. Kemudian dilakukan pengisian refrigeran R-134a dengan menggunakan pompa vakum. Setelah itu mesin refrigerasi dihidupkan dan ikan-ikan dimasukkan ke dalam kedua kotak pendingin berdasarkan jenis ikan yang telah ditentukan, dan dengan perbandingan yang sama. Alat ukur tekanan

(P) dan suhu (T) akan melakukan pembacaan tekanan dan suhu pada tiap-tiap titik. Adapun diagram skematik penempatan alat-alat ukur dapat dilihat pada gambar 1. Perubahan tekanan dan suhu pada tiap-tiap titik dicatat berdasarkan perubahan waktu selama penelitian, hal ini dimaksudkan agar diperoleh data yang valid. Sehingga dalam analisa data diharapkan tidak mengalami kendala akibat kurangnya data penelitian.

Pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan langsung terhadap pembacaan alat-alat ukur. Data-data yang dihasilkan oleh pembacaan alat-alat ukur digunakan untuk menganalisa koefisien prestasi (COP) dari mesin refrigerasi tersebut. Data tekanan (P) dihasilkan oleh *pressure gauge* untuk refrigeran yang dipasang pada tiap-tiap titik di dalam sistem, dan suhu (T) dihasilkan dengan menggunakan *thermocouple* yang dipasang pada tiap-tiap titik untuk mensensor suhu yang selanjutnya direkam melalui *data logger*. Suhu pada masing-masing kotak pendingin dibaca oleh *thermostat digital* yang telah terpasang pada dinding penutup kotak pendingin. Putaran kompresor diukur menggunakan *tachometer digital*.

Analisis data dilakukan untuk menentukan unjuk kerja dari mesin refrigerasi menggunakan siklus kompresi uap aktual. Besaran-besaran unjuk kerja adalah (a). Kerja kompresi (kJ/kg). Kerja kompresi sangat diperlukan karena merupakan bagian dari operasi sistem yang terbesar; (b). Kapasitas refrigerasi (kJ/kg). Besarnya harga bagian ini sangat penting diketahui, karena proses ini merupakan tujuan utama dari seluruh sistem; (c). Koefisien prestasi (COP), yang merupakan dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi. Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan karena hal ini menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi hanya memerlukan sejumlah kecil kerja. Analisa energi untuk siklus kompresi uap ini adalah (Dincer and Kanoglu, 2010) :

Untuk kompresor :

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{m}h_1 + \dot{W} = \dot{m}h_2 \quad (1)$$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

dimana  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa refrigeran, kg/s;  $h$  adalah entalpi, kJ/kg; dan  $\dot{W}$  adalah masukan daya kompresor (kerja kompresi).

Untuk kondensor :

$$\dot{m}h_2 = \dot{m}h_3 + \dot{Q}_H$$

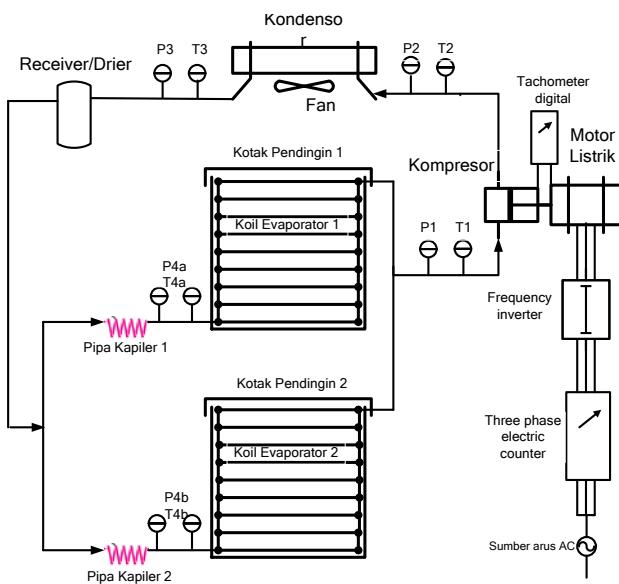
$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (2)$$

dimana  $\dot{Q}_H$  adalah kalor yang dibuang dari kondensor ke udara lingkungan

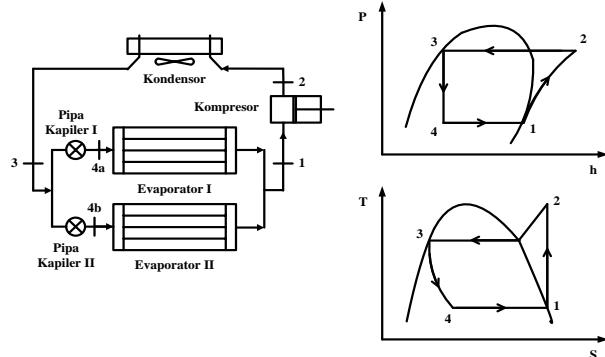
Untuk alat ekspansi :

$$\dot{m}h_3 = \dot{m}h_4$$

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$



Gambar 1. Diagram skematik penelitian sistem refrigerasi dual paralel evaporator *single stage system*



Gambar 2. Siklus refrigerasi kompresi uap dual paralel evaporator *single stage system*

Untuk evaporator 1 :

$$\dot{m}h_{4a} + \dot{Q}_{L1} = \dot{m}h_1$$

$$\dot{Q}_{L1} = \dot{m}(h_1 - h_{4a}) \quad (4)$$

Untuk evaporator 2 :

$$\dot{m}h_{4b} + \dot{Q}_{L2} = \dot{m}h_1$$

$$\dot{Q}_{L2} = \dot{m}(h_1 - h_{4b}) \quad (5)$$

dimana  $\dot{Q}_{L1}$  dan  $\dot{Q}_{L2}$  adalah kalor yang diambil dari ruangan atau fluida yang akan didinginkan oleh evaporator. Dengan demikian maka dampak refrigerasi sistem pendingin ini adalah :

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{L1} + \dot{Q}_{L2} \quad (6)$$

Maka secara keseluruhan, kesetimbangan energi untuk sistem refrigerasi ini dapat dituliskan sebagai

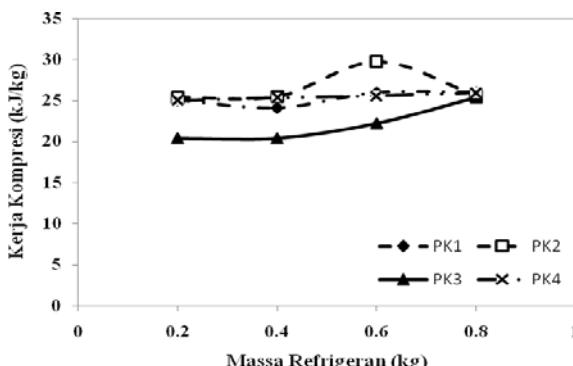
$$\dot{W} + \dot{Q}_L = \dot{Q}_H \quad (7)$$

Koefisien performansi (COP) dari sistem refrigerasi menjadi :

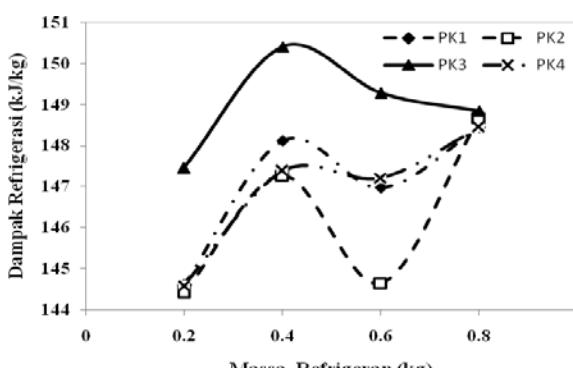
$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_{L1} + \dot{Q}_{L2}}{\dot{W}} \quad (8)$$

## Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 3 terlihat bahwa pipa kapiler ketiga (PK3) dengan dimensi  $L = 0,75$  m dan  $ID = 0,2$  mm menghasilkan kerja kompresi paling rendah dibandingkan dengan tiga jenis pipa kapiler lainnya, dan kerja kompresi PK3 terbesar terjadi pada penggunaan berat refrigeran 0,8 kg. Kerja kompresi PK3 mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya massa refrigeran yang digunakan. Pipa kapiler keempat (PK4) menghasilkan kerja kompresi yang relatif konstan untuk setiap perubahan penggunaan massa refrigeran, sedangkan dua jenis pipa kapiler lainnya (yaitu PK1 dan PK2) mengalami perubahan kerja kompresi yang fluktuatif untuk setiap perubahan penggunaan massa refrigeran. PK2 menghasilkan kerja kompresi tertinggi pada penggunaan 0,6 kg massa refrigeran.



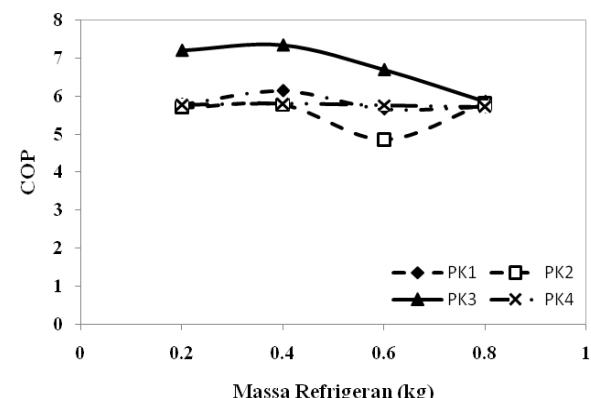
Gambar 3. Hubungan antara massa refrigeran dengan kerja kompresi untuk keempat dimensi pipa kapiler yang digunakan



Gambar 4. Hubungan antara massa refrigeran dengan kapasitas refrigerasi untuk keempat dimensi pipa kapiler yang digunakan

Pada gambar 4 terlihat bahwa PK3 menghasilkan kapasitas refrigerasi yang paling tinggi untuk setiap perubahan penggunaan massa refrigeran dibandingkan dengan tiga jenis pipa kapiler lainnya,

dan kapasitas refrigerasi tertinggi dihasilkan pada penggunaan massa refrigeran sebesar 0,4 kg. Pada gambar 5 terlihat bahwa PK3 menghasilkan koefisien prestasi (COP) yang paling tinggi dibandingkan dengan tiga jenis pipa kapiler lainnya, dan COP ini menurun seiring dengan perubahan penggunaan massa refrigeran, namun COP tertinggi ( $COP = 7,35$ ) dihasilkan saat penggunaan massa refrigeran sebesar 0,4 kg. Pipa kapiler keempat (PK4) menghasilkan COP yang relatif konstan untuk setiap perubahan penggunaan massa refrigeran, sedangkan dua jenis pipa kapiler lainnya (yaitu PK1 dan PK2) mengalami perubahan COP yang fluktuatif untuk setiap perubahan penggunaan massa refrigeran. PK2 menghasilkan COP terendah pada penggunaan 0,6 kg massa refrigeran.



Gambar 5. Hubungan antara massa refrigeran dengan COP mesin refrigerasi untuk keempat dimensi pipa kapiler yang digunakan

## Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa pada penggunaan pipa kapiler (PK3) dengan dimensi  $L = 0,75$  m dan  $ID = 0,2$  mm dan berat refrigeran sebesar 0,4 kg merupakan yang paling optimal untuk diterapkan pada mesin refrigerasi ini karena menghasilkan kerja kompresi yang paling rendah, kapasitas refrigerasi yang paling tinggi, dan koefisien prestasi (COP) yang paling tinggi.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Hibah Strategis Nasional tahun anggaran 2012. Untuk itu dihaturkan limpah terima kasih.

## Nomenklatur

COP	Koefisien prestasi
h	Entalpi (kJ/kg)
ID	Diameter dalam pipa kapiler (mm)
L	Panjang pipa kapiler (m)
PK	Pipa kapiler
Q <sub>L</sub>	Kapasitas refrigerasi (kJ/kg)

W Kerja kompresi (kJ/kg)

### Referensi

Dincer, I., and Kanoglu, M., 2010, *Refrigeration Systems and Applications*, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Publication

Enie, B., Dhiah Nuraini, Elly Nurlaayah, dan Novianis, 1993, Penelitian Pengawetan Ikan Segar Dengan Menggunakan Es Kering, *Jurnal Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Hasil Pertanian*, Departemen Pertanian.

Gerlach, D. W., dan Newell, T. A., 2001, *Dual Evaporator Household Refrigerator Performance Testing and Simulation*, Air Conditioning and Refrigeration Center, University of Illinois, Mechanical & Industrial Engineering Dept. 1206 West Green Street, Urbana, IL 6180

Hosoz, M., 2005, Performance Comparison of Single-Stage and Cascade Refrigeration Systems Using 134a as the Working Fluid, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, Vol. 29, page 285 – 296.

Junianto, 2003, *Teknik Penanganan Ikan*, Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta.

Nasruddin, Napitupulu, E., dan Hidayat, F., 2009, Analisa Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi Dual paralel Evaporator Dengan Variasi Putaran Motor DC Kompresor Hermetik Tunggal, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) – VIII*, Universitas Diponegoro, Semarang, hal. 1894 - 1900

Prasetyo, 1993, Kajian Kemasan Dingin untuk Transportasi Udang Hidup secara Kering, *Skripsi S1*, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.

Setyowati, U., 1995, Mempelajari Tingkat Mortalitas Lobster hijau (Panulirus Homarus) dalam Kemasan Dingin dengan Bahan Pengisi Serbuk Gergaji dan Koran Sebagai Pembungkus, *Skripsi S1*, Fakultas Perikanan, IPB, Bogor.

Suryaningrum, Setiabudi, dan Erlina, 1997, Pengaruh Penurunan Suhu Bertahap Terhadap Aktivitas dan Sintasan Lobster Hitam (Panuliris Penicillatus) Selama Transportasi Sistem Kering, *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, Vol. III, No.2, Departemen Kelautan dan Perikanan.

Yuliono, A., Syaka, DRB., dan Nasruddin, 2010,

Optimalisasi Pipa Kapiler Mesin Pendingin Autocascade Pada Variasi Komposisi Campuran Refrigeran Hidrokarbon, *Prosiding Seminar Nasional Thermofluid*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, hal. 15 – 18.