

ANALISA KINERJA SISTEM REFRIGERASI BERDASARKAN BEBAN PENDINGINAN RUANG PEMBEKUAN PADA KAPAL PENAMPUNG IKAN

PERFORMANCE ANALYSIS OF REFRIGERATION SYSTEM BASED ON COOLING LOAD OF FREEZING ROOM ON THE FISH CARRIER VESSEL

Andreas Pujiyanto , M. Zaki Latif A, & Wempi Septiandi

Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong
Jl. Kapitan Pattimura, Tanjung Kasuari - Suprau Kotak Pos 118 Kota Sorong, Papua Barat 98411

e-mail : a.pujiyanto@polikpsorong.ac.id

Diterima tanggal: 17 Juni 2019 ; diterima setelah perbaikan: 24 April 2020 ; Disetujui tanggal: 27 April 2020
DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v15i1.7856>

ABSTRAK

Kapal penampung ikan adalah salah satu jenis kapal perikanan. Sistem refrigerasi kompresi uap banyak digunakan pada kapal perikanan. Besarnya kinerja mesin refrigerasi pada tempat penyimpanan ikan di kapal telah banyak diteliti. Namun, analisa terhadap pengaruh beban pendinginan ruang pembekuan pada kapal penampung belum banyak dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa kinerja mesin refrigerasi dengan beberapa bentuk pola operasi ruang pembekuan ikan hasil tangkapan pada kapal penampung berukuran 150 GT. Studi kasus dilakukan pada KM. Mina Anugrah 8 dengan pengambilan data selama 29 hari proses pembekuan. Beban pendinginan dihitung berdasarkan beban pendinginan dari ikan yang dibekukan maupun non produk. Persamaan *Coefficient of Performance* (COP) digunakan untuk menghitung kinerja mesin refrigerasi yang merupakan pembagian antara kapasitas refrigerasi ruang pembekuan dengan kerja kompresi. Analisa data dilakukan untuk dua pola pengoperasian ruang pembekuan baik penggunaan satu ruang pembekuan ataupun dua ruang pembekuan. Nilai rata-rata COP penggunaan ruang pembekuan 1 dengan satu kompresor adalah 3,28 dengan beban pendinginan rata-rata 14,75 kW. Penggunaan ruang pembekuan 2 dengan satu kompresor memiliki beban pendinginan dan COP rata-rata yang lebih kecil dari ruang pembekuan 1 yaitu 14,23 kW dan 2,83 secara berturut-turut. Pola operasi menggunakan dua ruang pembekuan dengan dua kompresor memiliki COP yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pola operasi menggunakan satu ruang pembekuan dan satu kompresor. Nilai COP rata-ratanya adalah 2,81 dengan beban pendinginan rata-rata 54,04 kW.

Kata kunci: Kapal penampung ikan, ruang pembekuan, beban pendinginan, COP.

ABSTRACT

The fish carrier vessels are one type of fishing vessel. Vapor compression refrigeration systems are widely used on fishing vessels. The magnitude of the performance of refrigeration machines in the fish hold on vessels has been extensively studied. However, there has not been much analysis of the effect of the freezing room cooling load on the fish carrier vessel. The purpose of this study was to analyze the performance of a refrigeration machine with some patterns of operation methods of the freezing room on the fish carrier vessel with 150 GT size. Case studies conducted at KM. Mina Anugrah 8 by taking data for 29 days of the freezing process. The cooling load is calculated based on the cooling load of the fish and non-product. The Coefficient of Performance (COP) equation is used to calculate the performance of a refrigeration machine which is the division between the freezing room refrigeration capacity and the compression work. Data analysis was carried out for the two operating patterns using one freezing room or two freezing rooms. The average COP value of the use of the 1st freezing room with one compressor is 3.28 with an average cooling load of 14.75 kW. The use of the 2nd freezing room with one compressor has an average cooling load and COP smaller than the 1st freezing room which is 14.23 kW and 2.83 respectively. The operating pattern using two freezing rooms with two compressors has a smaller COP when compared to the operating pattern using one freezing room and one compressor. The average COP value is 2.81 with an average cooling load of 54.04 kW.

Keywords: *The fish carrier vessel, freezing room, cooling load, COP.*

PENDAHULUAN

Kapal perikanan secara umum terdiri dari: kapal penangkap ikan, kapal pengangkut hasil tangkapan, kapal survei, kapal latihan dan kapal pengawas perikanan. Kapal pengangkut hasil tangkapan adalah kapal yang dikonstruksi secara khusus, dilengkapi dengan palkah khusus yang digunakan untuk menampung, menyimpan, mengawetkan dan mengangkut ikan hasil tangkapan (Fyson, 1985; Oktoufan & Pribadi, 2013). kapal pengangkut ikan umumnya adalah kapal besar yang dilengkapi dengan ruang pendingin untuk mengangkut ikan dan produk hasil olahan ikan (Food and Agricultural Organization, 1985).

Tujuan dari sistem refrigerasi adalah mempertahankan area yang didinginkan pada temperatur di bawah temperatur sekelilingnya (Moran *et al.*, 2010). Refrigerasi digunakan dalam industri untuk pendinginan dan pembekuan produk, kondensasi uap, menjaga kondisi lingkungan, dan untuk ruang penyimpanan (Dinçer & Kanoğlu, 2010). Ikan hasil tangkapan harus memerlukan perlakuan khusus dengan cara didinginkan supaya dapat terjaga kualitasnya. Proses pendinginan ikan bertujuan untuk menghambat berkembangnya bakteri yang dapat menyebabkan kesegaran ikan menjadi rusak (Kiryanto & Supriyanto, 2011). Pola dan laju penurunan mutu ikan sangat dipengaruhi oleh keadaan temperatur. Dimana semakin tinggi temperatur, semakin cepat pula penurunan mutu kesegaran (Sanger, 2010).

Sistem refrigerasi kompresi uap umumnya banyak digunakan pada sistem refrigerasi (Dinçer & Kanoğlu, 2010; Mainil, 2012; Moran *et al.*, 2010). Di dalam siklus refrigerasi kompresi uap, entalpi evaporasi atau kalor laten refrigeran diserap dari ruangan atau produk yang didinginkan dengan temperatur konstan pada tekanan rendah sebelum dikompresi sehingga tekanannya menjadi tinggi (Arora, 2012). Evaporator merupakan komponen dari sistem refrigerasi kompresi uap yang menyerap kalor dari produk (beban pendinginan) karena temperaturnya yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur dari produk yang didinginkan. Beban pendinginan merupakan benda-benda sumber energi panas yang dapat mempengaruhi kapasitas sistem refrigerasi (Hasbi *et al.*, 2016).

Coefficient of Performance (COP) digunakan sebagai kriteria kinerja utama untuk analisa kinerja secara umum pada sistem refrigerasi (Ust *et al.*, 2016). Performansi mesin refrigerasi yang disebut juga dengan koefisien prestasi (*Coefficient of Performance*)

dinyatakan sebagai perbandingan antara kapasitas refrigerasi yang terjadi dengan kerja yang dilakukan kompresor (Jumhan & Cappenberg, 2017; Stoecker & Jones, 1982). Semakin besar nilai COP maka semakin besar efisiensi dari sistem refrigerasi (Misrijal *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian yang membahas mengenai hubungan antara kinerja sistem refrigerasi dan beban pendinginan antara lain: Cahyadi & Darsopuspito (2014) melakukan penelitian tentang studi eksperimen variasi beban pendingin pada evaporator mesin pendingin difusi absorpsi. Variasi beban yang diberikan menggunakan pemanas dengan temperatur 25°C, 32,5°C, dan 37°C. COP tertinggi terjadi pada beban terbesar yaitu 0,786 dan COP terendah pada beban terkecil yaitu sebesar 0,71. Anwar (2010) melakukan uji eksperimen pada ruang pendingin (*cold box*) dengan variasi beban dengan menggunakan lampu 0 – 400 Watt. COP optimum didapatkan pada beban pendinginan diantara 200 Watt dengan nilai 2,64. Kiryanto & Supriyanto (2011) melakukan perencanaan sistem pendingin ruang palkah ikan dengan sistem kompresi uap. Perencanaan tersebut mengestimasi dengan beban pendinginan total di ruang palkah sebesar 121,54 kW didapatkan COP sebesar 9,9 dengan penggunaan kompresor dengan daya 12,22 kW. Riyadi *et al.* (2016) merancang dan menguji sistem pendingin *refrigerated sea water* (RSW) pada kapal ikan tradisional. Massa ikan yang disimpan di RSW adalah 200 kg dengan menggunakan air laut yang didinginkan sebesar 277 liter. COP dari sistem refrigerasi mempunyai nilai 5,49 dengan beban pendinginan 1,2 kW dimana estimasi lama pengoperasian kapal selama 4 jam. Baheramasyah *et al.* (2017) mendesain sistem refrigerasi kompresi uap pembuat ice slurry pada kapal penangkap ikan 30 GT. Beban pendinginan untuk pendinginan air menjadi *ice slurry* dengan massa 6.144,72 kg di dalam palkah selama 14 jam adalah sebesar 32,06 kW. COP dari sistem refrigerasinya bernilai 2,26 dengan temperatur evaporatornya adalah -35oC. Ulum *et al.* (2018) menganalisa unjuk kerja sistem refrigerasi pada palkah di kapal penangkap cumi ukuran 34 GT. Beban pendinginan di ruang palkah yang dapat menampung cumi-cumi sebesar 252 kg adalah 12,48 kW. COP pada sistem refrigerasinya bernilai 1,41 pada tekanan suction kompresor 5 Psi dan discharge kompresor 190 Psi. Fauzi dan Widiyanto (2017) mendesain evaporator shell and tube pada *refrigerated sea water* (RSW) untuk diaplikasikan di kapal penangkap ikan ukuran 10-15 GT. COP dari sistem refrigerasi adalah 3,5 dengan temperatur evaporator -8°C dimana beban pendinginan total pada

palkah adalah sebesar 4,52 kW.

Beberapa penelitian banyak membahas mengenai kinerja mesin refrigerasi berdasarkan beban pendinginan ruang penyimpanan (palkah) di kapal. Namun, penelitian yang membahas mengenai kinerja mesin refrigeerasi berdasarkan beban pendinginan di ruang pembekuan pada kapal belum banyak dilakukan. Penggunaan ruang pembekuan di kapal penampung tergantung dari banyaknya ikan yang diperoleh dari para nelayan. Kebutuhan kapasitas pendinginan dipengaruhi oleh besarnya beban pendinginan di ruang pembekuan yang dioperasikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja mesin refrigerasi dengan beberapa bentuk pola operasi ruang pembekuan ikan hasil tangkapan pada kapal penampung berukuran 150 GT. Terdapat dua pola operasi ruang pembekuan yang dianalisa yaitu penggunaan satu ruang pembekuan dengan satu kompresor maupun penggunaan dua ruang pembekuan dengan dua kompresor.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di KM. Mina Anugrah 8 yang merupakan kapal penampung ikan di wilayah perairan Merauke. Gambar 1 menunjukkan KM. Mina Anugrah 8 yang berbahan kayu dengan ukuran 150

GT. Ukuran panjang kapal adalah 27,23 meter dengan lebar kapal 7,8 meter. Kapal penampung ini dilengkapi dengan sistem refrigerasi kompresi uap dengan dua kompresor jenis torak dengan kapasitas daya 37 kW, dua ruang pembekuan, serta delapan palkah sebagai ruang penyimpanan.

Pengambilan data dilakukan dari tanggal 3 Maret – 17 April 2019 saat ruang pembekuan (freezer) digunakan. KM. Mina Anugrah 8 mempunyai dua ruang pembekuan. Beban pendinginan pada ruang pembekuan dapat dihitung dari penjumlahan beban produk dan beban non produk. Beban produk ini merupakan energi kalor yang diserap dari ikan yang terdiri dari tiga tahapan yaitu penurunan temperatur ikan sebelum proses pembekuan ikan, proses pembekuan ikan, dan penurunan temperatur setelah proses pembekuan ikan. Beban non produk di ruang pembekuan dihitung dari penjumlahan beban transmisi dinding pada ruang pembekuan, beban infiltrasi (pertukaran udara) terjadi saat pembukaan pintu ruang pembekuan, dan beban dari internal (terdiri dari lampu penerangan, orang yang bekerja, maupun motor listrik dari fan blower).

Beban produk ikan (\dot{Q}_p) dapat dihitung dengan menggunakan Pers. (1) (ASHRAE, 2010). Data yang diperlukan untuk menghitung beban produk tersebut antara lain massa ikan yang dibekukan (mp),



Gambar 1. KM. Mina Anugrah 8.
Figure 1. KM. Mina Anugrah 8.

temperatur awal ikan (T_0), temperatur beku ikan (T_b), temperatur akhir ikan (T_f), lama proses pendinginan dan pembekuan (t). Nilai kalor sensibel ikan sebelum proses pembekuan (C_{p2}) adalah 3,4 kJ/kg.°C, nilai kalor sensibel ikan setelah proses pembekuan (C_{p1}) adalah 2,19 kJ/kg.°C, dan nilai kalor laten ikan (h_p) sebesar 227 kJ/kg.

$$\dot{Q}_p = \frac{m_p ((C_{p1}(T_0 - T_b)) + h_p + (C_{p2}(T_b - T_f)))}{t} \dots\dots 1)$$

Beban non produk di ruang pembekuan (\dot{Q}_{np}) dihitung berdasarkan standar ASHRAE (2010) dengan menggunakan Pers. (2) yang merupakan penjumlahan dari beban transmisi dinding (\dot{Q}_t), beban infiltrasi (pertukaran udara) (\dot{Q}_{inf}), dan beban internal (\dot{Q}_{int}). Beban transmisi dinding didapat dari perkalian antara luas permukaan dinding ruang pembekuan, selisih temperatur luar dan dalam dari dinding, serta koefisien perpindahan kalor pada dinding. Beban infiltrasi (pertukaran udara) karena pembukaan pintu ruang pembekuan dipengaruhi oleh volume ruang pembekuan, nilai pertukaran udara, maupun faktor udaranya. Sedangkan beban internal dipengaruhi oleh jumlah orang, lampu, maupun fan blower yang digunakan. Selain dari besarnya daya lampu dan fan blower juga menentukan besarnya heat gain.

(2)

$$\dot{Q}_{np} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{int} \dots\dots\dots 2)$$

Perhitungan beban pendinginan dalam penelitian digunakan untuk menghitung dua pola pengoperasian ruang pembekuan. Pola pengoperasian ruang pembekuan di KM. Mina Anugrah 8 yaitu (1) penggunaan satu ruang pembekuan dengan satu kompresor dan (2) penggunaan dua ruang pembekuan dengan dua kompresor. Pola pengoperasian ruang pembekuan pada satu ruang pembekuan dengan satu kompresor yang digunakan di kapal ada dua metode yaitu penggunaan ruang pembekuan 1 maupun ruang pembekuan 2. Ruang pembekuan 1 dan 2 memiliki ukuran yang berbeda. Ruang pembekuan 1 mempunyai ukuran panjang 4 meter, lebar 3,5 meter dan tinggi 2 meter. Sedangkan ruang pembekuan 2 memiliki ukuran panjang 3,3 meter, lebar 3,3 meter, dan tinggi 1,9 meter. Dinding ruang pembekuan terbuat dari 3 lapisan material yaitu fiberglass, busa, dan kayu. Ruang pembekuan ini merupakan jenis contact plate freezer dimana dalam proses pembekuan produk dibantu

dengan fan blower dalam mempercepat penyerapan kalor secara konveksi. Ruang pembekuan KM. Mina Anugrah 8 ditunjukkan pada Gambar 2.

Sistemrefrigerasi kompresi uap pada KM. Mina Anugrah 8 yang ditunjukkan Gambar 3 menggunakan dua unit kompresor dengan dua evaporator ruang pembekuan, dan delapan evaporator ruang penyimpanan di dalam palkah. *Coefficient of Performance* (COP) dari sistem refrigerasi merupakan pembagian antara kapasitas refrigerasi di evaporator dengan kerja kompresor (Stoecker & Jones, 1982). Penggunaan jumlah kompresor tergantung dari penggunaan evaporator di ruang pembekuan maupun ruang penyimpanan. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai nilai COP pada pola pengoperasian ruang pembekuan yang berbeda di KM. Mina Anugrah 8.



Gambar 2. Ruang pembekuan..
Figure 2. Freezing room.

Nilai COP untuk satu kompresor dan satu evaporator ruang pembekuan 1 dapat dihitung menggunakan Pers. (3) dan (4) (Ust *et al.*, 2016).

$$COP = \frac{(\dot{m}_9 (h_{10} - h_9)) + (\dot{m}_{15} (h_{16} - h_{15}))}{(\dot{m}_2 (h_3 - h_2))} \dots\dots\dots 3)$$

Ataupun

$$COP = \frac{(\dot{m}_9 (h_{10} - h_9)) + (\dot{m}_{15} (h_{16} - h_{15}))}{(\dot{m}_4 (h_5 - h_4))} \dots\dots\dots 4)$$

Nilai COP untuk satu kompresor dan satu evaporator ruang pembekuan 2 dapat dihitung menggunakan Pers. (5) dan (6).

$$COP = \frac{(\dot{m}_{12} (h_{13} - h_{12})) + (\dot{m}_{15} (h_{16} - h_{15}))}{(\dot{m}_2 (h_3 - h_2))} \dots\dots\dots 5)$$

Ataupun

$$COP = \frac{(\dot{m}_{12} (h_{13} - h_{12})) + (\dot{m}_{15} (h_{16} - h_{15}))}{(\dot{m}_4 (h_5 - h_4))} \dots\dots\dots 6)$$

Nilai COP untuk dua kompresor dan dua evaporator ruang pembekuan 1 dan 2 dapat dihitung menggunakan

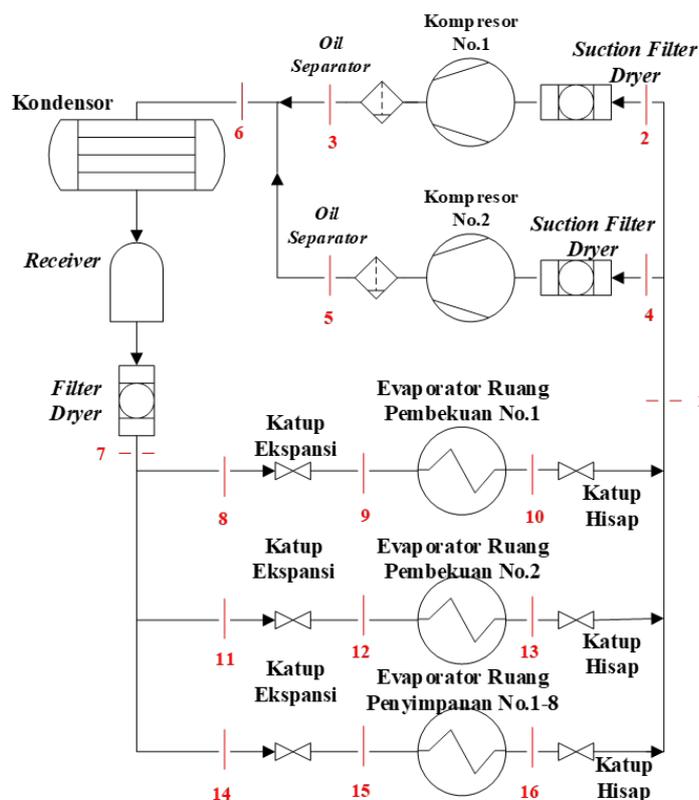
Pers. (7) dan (8).

$$COP = \frac{(\dot{m}_7 (h_1 - h_7))}{(\dot{m}_1 (h_6 - h_1))} \dots\dots\dots 7)$$

Ataupun

$$COP = \frac{(\dot{m}_9 (h_{10} - h_9)) + (\dot{m}_{12} (h_{13} - h_{12})) + (\dot{m}_{15} (h_{16} - h_{15}))}{(\dot{m}_2 (h_3 - h_2)) + (\dot{m}_4 (h_5 - h_4))} \dots\dots\dots 8)$$

Nilai entalpi ($h_{(T,P)}$) ditentukan oleh parameter temperatur dan tekanan pada setiap kondisi. Nilai entalpi didapatkan dengan menggunakan *software Computer Aided Thermodynamic Tables* dengan menginput nilai hasil pengukuran temperatur dan tekanan absolut refrigeran R-22 pada sistem refrigerasi. Tekanan diukur menggunakan manometer suction maupun discharge. Sedangkan temperaturnya diukur menggunakan termometer digital pada setiap tingkat kondisi. Laju massa aliran refrigeran (\dot{m}) dalam penelitian ini menggunakan persamaan (9) (Ust *et al.*, 2016). Besarnya laju massa aliran refrigeran di dalam sistem refrigerasi adalah $\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7$ atau $\dot{m} = \dot{m}_2 + \dot{m}_4 = \dot{m}_3 + \dot{m}_5$ atau $\dot{m} = \dot{m}_9 + \dot{m}_2 + \dot{m}_5 = \dot{m}_0 + \dot{m}_3 + \dot{m}_6$. Daya input motor listrik kompresor (\dot{W}_e) dihitung



Gambar 3. Sistem refrigerasi.
Figure 3. Refrigeration system.

dari hasil pengukuran pada ampere meter maupun volt meter di panel kontronnya. Nilai efisiensi mekanik (η_m) dan efisiensi motor listriknya (η_{em}) masing-masing diasumsikan sebesar 0,95.

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{PC} \times \eta_m \times \eta_{em}}{(h_6 - h_1)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

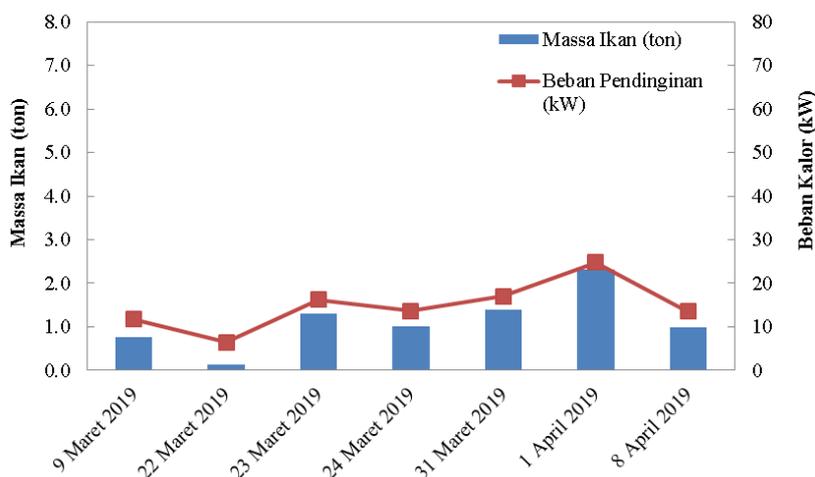
Beban pendinginan pada proses pembekuan ikan di KM. Mina Anugrah 8 mempunyai nilai berbeda-beda tergantung dari jumlah ikan yang dibekukan dengan pola operasi ruang pembekuan yang diterapkan. Beban produk ikan merupakan beban pendinginan yang paling besar jika dibandingkan dengan beban non produk. Waktu pembekuan rata-rata di ruang pembekuan berkisar 12 jam dengan temperatur akhir ikan dapat mencapai -18°C . *Coefficient of Performance* (COP) dari sistem refrigerasi dipengaruhi oleh besarnya kapasitas refrigerasi di dalam evaporator dan kerja dari kompresor yang digunakan. Nilai entalpi dari refrigeran untuk tiap tingkat kondisi dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur dari refrigeran tersebut. Pengaturan tekanan pada kompresor terutama pada bagian hisap (*suction*) tergantung dari besarnya beban pendinginan di ruang pembekuan. Selain hal tersebut, jumlah kompresor yang digunakan pada sistem refrigerasi juga tergantung dari besarnya beban pendinginan. Hal ini perlu diperhatikan agar ikan yang dibekukan dapat mencapai nilai temperatur yang diinginkan sebelum proses penyimpanan di palkah. Pengaturan yang tepat baik tekanan kompresor maupun jumlah kompresor

dapat mengoptimalkan waktu dari proses pembekuan. Ruang pembekuan di kapal terdiri dari dua ruangan dengan ukuran yang berbeda. Ruang pembekuan 1 berukuran lebih besar yaitu 28 m^3 jika dibandingkan dengan ruang pembekuan 2 yang hanya berukuran $20,7 \text{ m}^3$. Penggunaan ruang pembekuan ditentukan dengan banyaknya ikan yang didapat dari nelayan dan kapasitas ruangan yang dimiliki ruang pembekuan. Terdapat dua pola operasi ruang pembekuan di KM. Mina Anugrah 8.

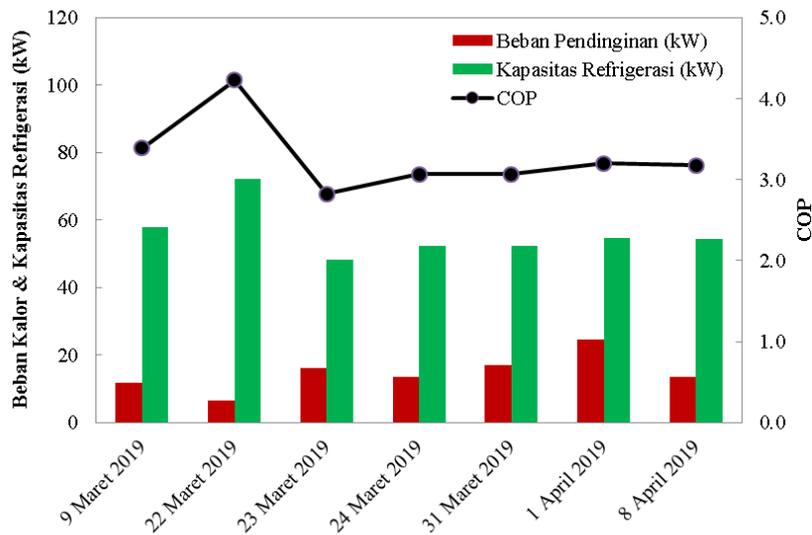
- Pola operasi satu ruang pembekuan dengan satu kompresor
 - Ruang pembekuan 1 dengan satu kompresor
 - Ruang pembekuan 2 dengan satu kompresor
- Pola operasi dua ruang pembekuan dengan dua kompresor

Pola Operasi Ruang Pembekuan 1 dengan Satu Kompresor

Beban pendinginan di ruang pembekuan 1 ditampilkan dengan jumlah massa ikan yang dibekukan ditunjukkan pada Gambar 4. Pengambilan data dilakukan selama tujuh kali proses pembekuan dengan variasi besarnya beban pendinginan dan massa ikan. Variasi massa ikan dan beban pendinginan menunjukkan bahwa semakin besar massa ikan yang dibekukan berbanding lurus dengan besarnya beban pendinginan di ruang pembekuan 1. Beban pendinginan terendah ditunjukkan pada tanggal 22 Maret 2019 dengan nilai 6,4 kW dengan massa ikan 0,14 ton. Sedangkan beban pendinginan terbesarnya terjadi pada tanggal 1 April 2019 dengan nilai 24,73 kW dengan massa ikan 2,31 ton.



Gambar 4. Variasi massa ikan dan beban pendinginan ruang pembekuan 1.
Figure 4. Fish mass and cooling load variations 1 st freezing room.



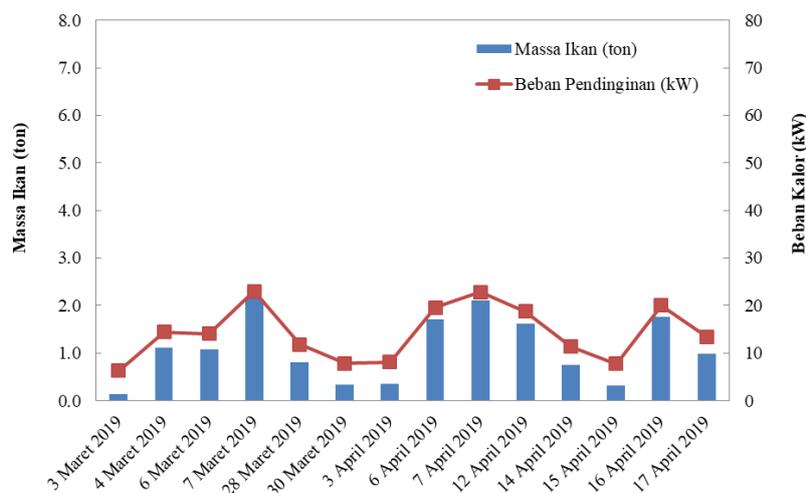
Gambar 5. Variasi COP, kapasitas refrigerasi, dan beban pendinginan ruang pembekuan 1.
 Figure 5. Variations of COP, refrigeration capacity, and cooling load in 1st freezing room.

Nilai COP sistem, kapasitas refrigerasi dan beban pendinginan pembekuan 1 dengan penggunaan satu kompresor ditunjukkan oleh Gambar 5. Semakin besar nilai kapasitas refrigerasi, nilai COP semakin besar. Namun berbeda halnya dengan beban pendinginan yang terlihat memiliki COP yang bervariasi. Pada tanggal 1 April 2019, beban pendinginan dengan nilai tertinggi pada ruang pembekuan 1 menunjukkan nilai 24,73 kW dengan nilai COP mesin refrigerasi yaitu 3,2 dengan kapasitas refrigerasinya sebesar 54,69 kW. Berbeda halnya pada tanggal 22 Maret 2019 yang menunjukkan beban pendinginan terendah dengan nilai 6,4 kW. Nilai COP-nya menunjukkan nilai 4,23 dengan kapasitas

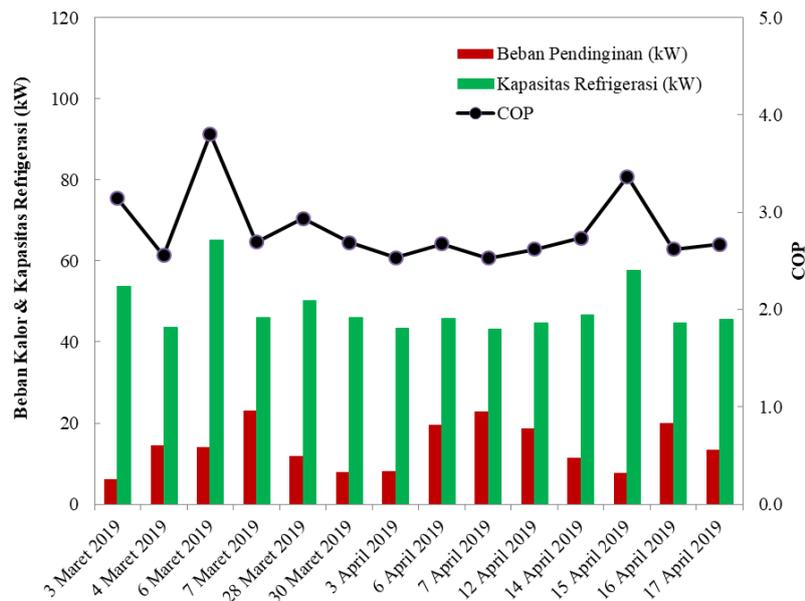
refrigerasinya sebesar 72,29 kW. Nilai rata-rata beban pendinginan pada 7 kali proses pembekuan di ruang pembekuan 1 dengan satu kompresor adalah 14,75 kW dengan nilai rata-rata COP-nya sebesar 3,28.

Pola Operasi Ruang Pembekuan 2 dengan Satu Kompresor

Variasi data massa ikan dan beban pendinginan ruang pembekuan 2 dengan menggunakan satu kompresor ditunjukkan pada Gambar 6. Pengambilan data dilakukan selama 14 kali proses pembekuan. Beban pendinginan terbesar terjadi pada tanggal 7 Maret 2019 yaitu 23,05 kW dengan massa ikan 2,15 ton. Sedangkan beban pendinginan terendah pada tanggal 3 Maret 2019



Gambar 6. Variasi massa ikan dan beban pendinginan ruang pembekuan 2.
 Figure 6. Fish mass and cooling load variations 2nd freezing room. .



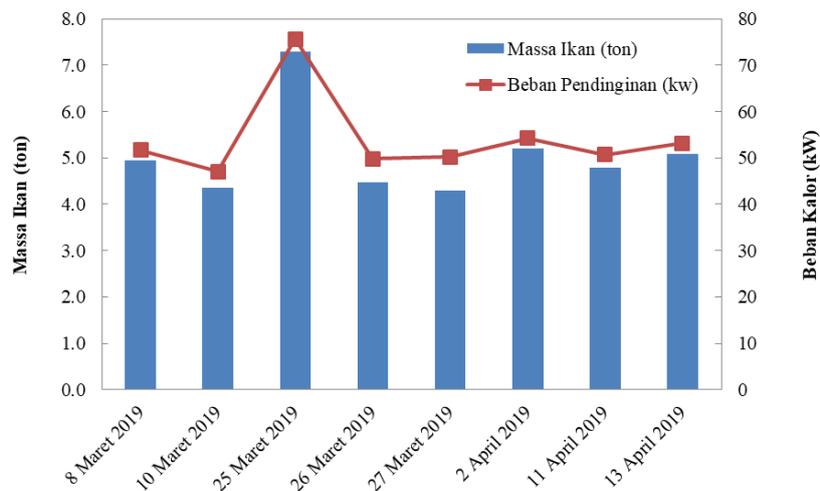
Gambar 7. Variasi COP, kapasitas refrigerasi, dan beban pendinginan ruang pembekuan 2.
 Figure 7. Variations of COP, refrigeration capacity, and cooling load in 2nd freezing room.

dengan nilai 6,25 kW dan massa ikan 0,14 ton.

14,23 kW dengan nilai rata-rata COP adalah 2,83.

Nilai COP sistem, kapasitas refrigerasi dan beban pendinginan pembekuan 2 dengan penggunaan 1 kompresor ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai tertinggi beban pendinginan pada ruang pembekuan 2 adalah 23,05 kW pada tanggal 7 Maret 2019. Nilai COP pada sistem refrigerasi adalah 2,69 dengan kapasitas refrigerasinya sebesar 46,07 kW. Sementara itu pada tanggal 3 Maret 2019, beban pendinginannya merupakan yang terendah dengan nilai 6,25 kW. COP-nya menunjukkan nilai 3,14 dengan kapasitas refrigerasinya sebesar 53,7 kW. Nilai rata-rata beban pendinginan pada 14 kali proses pembekuan adalah

Dua ruang pembekuan digunakan secara bersamaan jika kapasitas ikan yang dibekukan melebihi kapasitas dari ruang pembekuan 1 ataupun 2. Penggunaan dua kompresor diberlakukan pada kondisi ini karena beban pendinginan yang lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan satu ruang pembekuan. Variasi data massa ikan dan beban pendinginan kedua ruang pembekuan dengan menggunakan dua kompresor ditunjukkan pada Gambar 8. Data diambil selama 8 kali proses pembekuan. Nilai beban pendinginan terbesar ketika penggunaan dua ruang pembekuan terjadi pada tanggal 25 Maret 2019 dengan nilai 75,6 kW dan massa ikan



Gambar 8. Variasi massa ikan dan beban pendinginan ruang pembekuan 1 dan 2.
 Figure 8. Fish mass and cooling load variations 1st and 2nd freezing room.

7,29 ton. Sedangkan beban pendinginan terkecil terjadi pada tanggal 10 Maret 2019 dengan nilai 47,07 kW dan massa ikan 4.35 ton.

Kapasitas refrigerasi pada sistem untuk penggunaan dua evaporator menunjukkan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan satu evaporator ruang pembekuan. Hal ini disebabkan karena laju massa aliran di dalam sistem bertambah dengan penggunaan dua kompresor. Kapasitas refrigerasi yang besar pada evaporator dapat diatur jika beban pendinginan pada ruang pembekuan juga mempunyai nilai yang besar. Gambar 9 menunjukkan nilai variasi COP, kapasitas refrigerasi, dan beban pendinginan untuk pola operasi dua ruang pembekuan dengan dua kompresor. Nilai tertinggi beban pendinginan pada kedua ruang pembekuan adalah 75,6 kW pada tanggal 25 Maret 2019. Nilai COP pada sistem refrigerasi adalah 2,48 dengan kapasitas refrigerasinya sebesar 84,91 kW. Pada tanggal 10 Maret 2019, beban pendinginannya merupakan yang terendah dengan nilai 47,07 kW. COP-nya menunjukkan nilai 3,14 dengan kapasitas refrigerasinya sebesar 107,41 kW. Nilai rata-rata beban pendinginan pada 8 kali proses pembekuan adalah 54,04 kW dengan nilai rata-rata COP adalah 2,81.

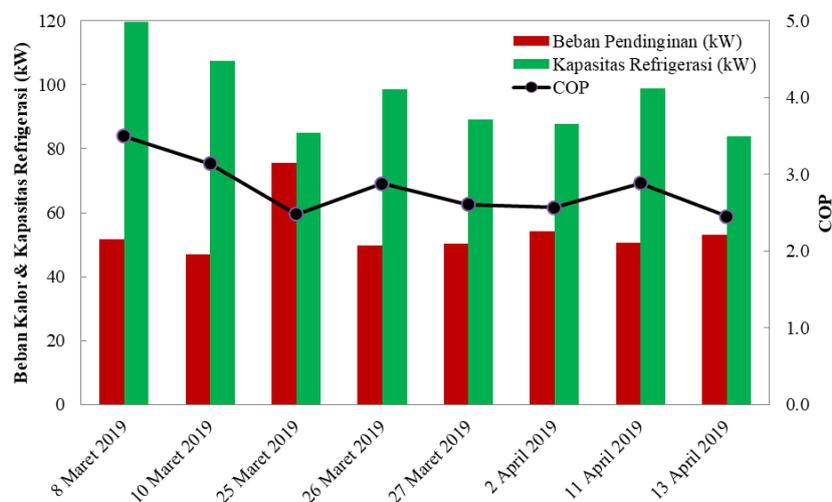
Pola operasi ruang pembekuan untuk proses pembekuan ikan tergantung dari besarnya beban pendinginan dimana yang paling besar kontribusinya adalah beban dari ikan yang dibekukan. Penggunaan satu ruang pembekuan di KM. Mina Anugrah 8 jika kapasitas ikan yang dibekukan kurang dari 3 ton. Sedangkan penggunaan dua ruang pembekuan secara bersamaan jika kapasitas ikan yang dibekukan lebih dari 3 ton. Selama 29 hari proses pembekuan, penggunaan

ruang pembekuan 2 lebih banyak jika dibandingkan dengan ruang pembekuan 1. Hal ini disebabkan ruang pembekuan 2 lebih kecil ukurannya dibandingkan dengan ruang pembekuan 1. Meskipun demikian, pola operasi ruang pembekuan 1 dengan satu kompresor menunjukkan nilai kinerja sistem refrigerasi yang lebih baik dengan beban pendinginan yang lebih besar jika dibandingkan pola operasi ruang pembekuan 2 dengan satu kompresor. Hal ini disebabkan oleh nilai kapasitas refrigerasi yang lebih besar pada pola operasi ruang pembekuan 2 dibandingkan dengan ruang pembekuan 1.

Berbeda halnya dengan pola pengoperasian dua ruang pembekuan secara bersamaan dengan menggunakan dua kompresor, kinerja sistem refrigerasi menunjukkan nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pola operasi satu ruang pembekuan dengan satu kompresor. Kapasitas refrigerasi yang lebih besar untuk menanggulangi beban pendinginnya lebih banyak pada pola operasi dua ruang pembekuan memiliki nilai COP yang kecil jika dibandingkan dengan pola operasi satu ruang pembekuan. Hal ini disebabkan karena kerja kompresor yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan satu kompresor untuk pengoperasian satu ruang pembekuan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pola operasi ruang pembekuan yang digunakan pada kapal penampung ikan KM. Mina Anugrah 8 yaitu pola operasi satu ruang pembekuan dengan satu kompresor dan pola operasi dua ruang pembekuan dengan dua kompresor. Untuk pola operasi satu ruang



Gambar 9. Variasi COP, kapasitas refrigerasi, dan beban pendinginan ruang pembekuan 1 dan 2.
 Figure 9. Variations of COP, refrigeration capacity, and cooling load in 1st and 2nd freezing room.

pembekuan dengan satu kompresor, penggunaan ruang pembekuan 2 dengan beban pendinginan rata-rata 14,75 kW menunjukkan kinerja sistem refrigerasi yang lebih baik dengan nilai COP rata-rata sebesar 3,28 jika dibandingkan ruang pembekuan 1 dengan nilai COP rata-rata 2,83 dengan beban pendinginan rata-rata sebesar 14,23 kW. Besarnya kinerja sistem refrigerasi untuk pola operasi ruang pembekuan 2 disebabkan oleh nilai kapasitas refrigerasi yang lebih besar dibandingkan dengan ruang pembekuan 1.

Pola operasi dua ruang pembekuan dengan dua kompresor menunjukkan nilai kinerja sistem refrigerasi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pola operasi satu ruang pembekuan dengan satu kompresor. Nilai COP rata-ratanya adalah 2,81 meskipun beban pendinginannya lebih besar dengan nilai rata-rata 54,04 kW. Kecilnya kinerja sistem pada pola operasi ini disebabkan karena penggunaan dua kompresor dengan kerja yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan satu kompresor untuk pengoperasian satu ruang pembekuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami ucapkan kepada semua pihak atas terlaksananya seluruh kegiatan penelitian sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (2010). ASHRAE Handbook: Refrigeration (SI Edition). ASHRAE Handbook (Vol. 30329).

Anwar, K. (2010). Efek Beban Pendingin terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. *Jurnal SMARTek*, 8(3), 203–214.

Arora, R. C. (2012). *Refrigeration and Air Conditioning* (Vol. 5).

Baheramasyah, A., Cahyono, B., & Suganda. (2017). Slurry Ice as a Cooling System on 30 GT Fishing Vessel. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(3), 136–142.

Cahyadi, A. N., & Darsopuspito, S. (2014). Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(1), B76–B79. <https://doi.org/10.12962/J23373539.V4I1.8675>

Dinçer, I., & Kanoğlu, M. (2010). *Refrigeration System*

and Applications (second Edi). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Fauzi, A., & Widiyanto, T. N. (2017). Perencanaan Sistem Termal Evaporator Tipe Shell and Tube untuk aplikasi RSW pada Kapal 10 – 15 GT. *In Seminar Nasional Tahunan XIV Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan* (pp. 65–76).

Food and Agricultural Organization. (1985). Definition and Classification of Fishery Vessel Types. Rome: Food and Agricultural Organization of The United Nation.

Fyson, J. E. (1985). *Design of Small Fishing Vessels*. Fishing News Books Ltd. Farnham.

Hasbi, G. Al, Untung, B., & Amiruddin, W. (2016). Analisa Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pada Kapal Ikan Ukuran 5 GT di Wilayah Rembang. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4), 768–778.

Jumhan, A., & Cappenberg, A. D. (2017). Analisis Kinerja Sistem Pendingin Ruang Palkah Ikan Dengan Menggunakan Refrigeran R-22 dan Hidrokarbon (MC-22). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 2(1), 14–25.

Kiryanto, & Supriyanto, H. (2011). Analisa Teknis dan Ekonomis Perencanaan Sistem Pendingin Ruang Palkah Ikan dengan Sistem Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran R22 (Monokloro Difluoro Metana). *KAPAL*, 8(1), 6–15.

Mainil, A. K. (2012). Kaji Eksperimental Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap dengan Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon (Hcr12) Sebagai Alternatif Refrigeran Pengganti R12 dengan Sistem Penggantian Langsung (Drop In Substitute). *Jurnal Mechanical*, 3(1), 72–79.

Misrijal, Ratna, & Kiman, S. (2017). Rancang Bangun Mesin Freeze Storage Sistem Kompresi Uap pada Pembekuan Ikan Tuna (*Thunnus Sp.*). *In Prosiding Seminar Nasional PARTETA* (pp. 229–242). Banda Aceh.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2010). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Seventh Edition*. European *Journal of Engineering Education*. Hoboken. <https://doi.org/10.1080/03043799308928176>

Oktoufan, M. M., & Pribadi, S. R. W. (2013). Analisa Teknis dan Ekonomis Produksi Kapal Penampung Ikan di Daerah Sulawesi Utara. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(2), 1–5.

Riyadi, M., Budiarto, U., & Santosa, A. W. . (2016). Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Sistem Pendingin Refrigerated Sea Water (RSW) Pada Kapal Ikan Tradisional. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), 101–112.

- Sanger G. (2010). Mutu Kesegaran Ikan Tongkol (Auxis tazard) Selama Penyimpanan Dingin. *WARTA WIPTEK*, (34), 39–43.
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1982). *Refrigeration and Air Conditioning (Second Edi)*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Ulum, R. N. M., Budiarto, U., & Kiryanto. (2018). Analisa Unjuk Kerja Sistem Pendingin Palka Pada Kapal Ikan Ukuran 34 GT Di Kota Tegal, *Jurnal teknik perkapalan*. 6(1), 265–276.
- Ust, Y., Sinan Karakurt, A., & Gunes, U. (2016). Performance Analysis of Multipurpose Refrigeration System (MRS) on Fishing Vessel. *Polish Maritime Research*, 23(2), 48–56. <https://doi.org/10.1515/pomr-2016-0020>

