

Perhitungan Beban Pendinginan pada Ruang Akomodasi Kapal General Cargo KM Pratiwi 2055 DWT

Suyanto[✉], Riyanto Wibowo²

^{1,2}Universitas IvET Semarang

DOI: <https://doi.org/10.31331/maristec.v1i1>

Info Articles

Sejarah Artikel:

Disubmit Oktober 2023

Direvisi November 2023

Disetujui Desember 2023

Keywords:

Beban pendingin, Kapal general cargo

Abstrak

Penggunaan HVAC di kapal sangat diperlukan mengingat kondisi lingkungan yang tergolong panas pada saat kapal dioperasikan, sehingga untuk memberikan kenyamanan kepada kru kapal perlu diupayakan suhu dan kelembaban ruang akomodasi kapal terjaga. Salah satu permasalahan utama dalam perencanaan HVAC adalah menentukan kapasitas mesin pendingin yang tepat, sehingga tujuan pendinginan untuk menyediakan kondisi udara yang sejuk dan nyaman bisa dicapai. Pemilihan kapasitas mesin pendingin dipilih berdasar beban pendinginan total dalam kapal. Perhitungan mesin pendingin dilakukan dengan menggunakan persamaan dan langkah perhitungan sesuai dengan ISO 7547 tahun 2002. Sumber beban panas yang ada adalah total dari beban panas transmisi yang merambat melewati dinding, plafond, dan lantai ruangan, beban panas dari penghuni ruangan, beban panas radiasi yang melalui dinding, beban panas lampu penerangan ruangan, dan beban panas dari peralatan elektronik yang digunakan dalam ruangan. Perhitungan beban pendinginan ruang akomodasi kapal General Cargo KM Pratiwi 2055 DWT mengidentifikasi kalor transmisi sebesar 3528 Watt, kalor penghuni ruangan sebesar 9910 Watt, panas radiasi yang melalui dinding sebesar 3700 Watt, panas lampu penerangan ruangan sebesar 1340 Watt, dan beban panas dari peralatan elektronik sebesar 5900 Watt. Total beban pendinginan dari mesin pendingin adalah 24.378 Watt.

Abstract

The use of HVAC on ships is very necessary considering that the environmental conditions are relatively hot when the ship is operated, so to provide comfort to the ship's crew it is necessary to ensure that the temperatur and humidity of the ship's accommodation spaces are maintained. One of the main problems in HVAC planning is determining the right cooling machine capacity, so that the cooling goal of providing cool and comfortable air conditions can be achieved. The selection of cooling engine capacity is chosen based on the total cooling load on the ship. The cooling load calculation is carried out using equations and calculation steps in accordance with ISO 7547 of 2002. The existing heat load sources are the total of the transmission heat load that propagates through the walls, ceiling and floor of the room, the heat load from the room occupants, the radiation heat load that passes through the room. walls, heat load from room lighting, and heat load from electronic equipment used in the room. Calculation of the cooling load for the accommodation space of the General Cargo KM Pratiwi 2055 DWT ship identified transmission heat of 3528 Watts, room occupant heat of 9910 Watts, radiant heat through the walls of 3700 Watts, room lighting heat of 1340 Watts, and heat load from equipment electronics of 5900 Watts. The total cooling load from the cooling machine is 24,378 Watts.

✉ Alamat Korespondensi: E-mail:
suyantoeste@yahoo.com

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan kenyamanan ruangan digunakan sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*). Penggunaan HVAC di kapal sangat diperlukan mengingat kondisi lingkungan yang tergolong panas pada saat kapal dioperasikan, sehingga untuk memberikan kenyamanan kepada kru kapal perlu diupayakan suhu dan kelembaban ruang akomodasi kapal terjaga. Pengkondisian udara ini tentunya juga berpengaruh pada kondisi kerja instrument dan peralatan elektronik di kapal yang optimal [1]. Untuk itu tentunya diperlukan mesin pendingin dengan kapasitas kerja sesuai dengan beban pendinginan yang ada.

Besarnya beban pendinginan menggambarkan jumlah kalor atau panas total yang dipindahkan oleh mesin pendingin dari dalam ruangan ke luar ruangan setiap waktu. Beban pendinginan merupakan benda-benda sumber energi panas yang dapat mempengaruhi kapasitas sistem refrigerasi [2]. Total panas yang dipindahkan berasal dari dalam ruangan itu sendiri dan panas yang berasal dari luar. Sumber panas di dalam ruangan adalah panas penghuni ruangan, dan panas dari peralatan elektronik semisal lampu, komputer, dan lainnya. Panas dari luar ruangan bersumber dari panas matahari atau panas dari sumber lain yang merambat melalui dinding, maupun dengan radiasi melalui kaca jendela. Rambatan panas dari luar sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal bahan dinding.

Penelitian Perhitungan *Cooling Capacity* Yang Dibutuhkan Pada Kapal Tanker 17500 LTDW [3] yang menghitung beban pendinginan total dari komponen beban panas transmisi, beban panas penghuni, beban panas radiasi, beban panas lampu, dan beban panas peralatan Listrik. Dari penelitian tersebut memperoleh simpulan bahwa total kapasitas pendingin yang dibutuhkan oleh kompresor pada ruang akomodasi Kapal Tanker 17500 LTDW ditemukan sebesar 487,87 kW. Penelitian Studi *Cooling Capacity* Kapal Cepat Rudal 60 Meter (Studi Kasus Pada KCR 60 Batch di PT PAL Indonesia) [4] dengan melakukan perhitungan volume ruangan, jumlah penghuni ruangan, suhu dan kelembaban, peralatan listrik (equipment), jumlah lampu, jumlah jendela, jenis ruangan yang membutuhkan pendinginan berdasarkan kegunaan, dan posisi ruangan. Selanjutnya dapat dihitung entalpi, kapasitas udara, jumlah sirkulasi, % *fresh air*, dan *cooling capacity* pada suatu ruangan. Penelitian tersebut menghasilkan simpulan kapasitas pendingin yang dibutuhkan oleh kompresor pada ruang akomodasi Kapal Cepat Rudal 60 meter ditemukan sebesar 174,17 kW.

KM Pratiwi didisain sebagai kapal General Cargo dengan bobot kapal 2055 DWT. Sesuai dengan tipe kapal, maka perencanaan HVAC pada kapal tersebut mengacu kepada kebutuhan kenyamanan kru kapal. Salah satu permasalahan utama dalam perencanaan HVAC adalah menentukan kapasitas mesin pendingin yang tepat, sehingga tujuan pendinginan untuk menyediakan kondisi udara yang sejuk dan nyaman bisa dicapai. Pemilihan kapasitas mesin pendingin dipilih berdasar beban pendinginan total dalam kapal. Beban pendinginan total pada kapal tersebut dihitung dari beban pendinginan pada tiap ruang akomodasi kapal. Pada artikel ini akan dibahas perhitungan beban pendinginan pada HVAC yang ada pada ruang akomodasi KM Pratiwi serta mesin pendingin yang dibutuhkan sesuai dengan beban pendinginan yang ada.

METODE

Perhitungan beban pendinginan dilakukan dengan menggunakan persamaan dan langkah perhitungan sesuai dengan ISO 7547 tahun 2002 [5]. Sumber beban panas yang diderita ruangan berasal dari Beban pendinginan yang ditanggung oleh mesin pendingin untuk mendinginkan ruangan adalah total dari beban panas transmisi yang merambat melewati dinding, plafond, dan lantai ruangan (Q_t), beban panas dari penghuni ruangan (Q_p), beban panas radiasi yang melalui dinding (Q_s), beban panas lampu penerangan ruangan (Q_l), dan beban panas dari peralatan elektronik yang digunakan dalam ruangan (Q_m). Sehingga beban panas ruangan bisa dihitung dengan persamaan (1).

$$Q = Q_t + Q_p + Q_s + Q_l + Q_m \dots (1)$$

a. Beban Panas Transmisi

Beban panas transmisi (Q_t) mempunyai nilai yang berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas bahan dinding (k_v), luas dinding yang dirambati panas (A_v), koefisien perpindahan panas bahan kaca (k_g), luas jendela kaca (A_g), serta perbedaan antara suhu di dalam ruangan dan suhu di luar ruangan (ΔT), sehingga beban panas transmisi bisa dihitung dengan persamaan (2)

$$Q_t = \Delta T ((k_v \times A_v) + (k_g \times A_g)) \dots (2)$$

Perbedaan temperatur bisa didapatkan dengan pengukuran langsung, atau bisa juga dengan menggunakan perbedaan temperatur standar berdasarkan ISO 7547 tahun 2002 sebagaimana tertulis pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbedaan Temperatur Ruangan yang Bersebelahan

<i>Deck or Bulkhead</i>	ΔT (K)	
	<i>Summer</i>	<i>Winter</i>
<i>Deck against tank provided with heating</i>	43	
<i>Deck with bulkhead against boiler-room</i>	28	17
<i>Deck and bulkhead against engine-room and against non-airconditioned gallery</i>	18	
<i>Deck and bulkhead against non-heated tanks. cargo spaces and equivalent</i>	13	42
<i>Deck and bulkhead against laundry</i>	11	17
<i>Deck and bulkhead against public sanitary space</i>	6	0
<i>Deck and bulkhead against private sanitary space</i>		
<i>a). with any part against exposed external surface</i>	2	0
<i>b). No. exposed</i>	1	0
<i>c). with any part against engine/boiler-room</i>	6	0
<i>Bulkhead against alleyway</i>	2	5

Adapun koefisien perpindahan panas total berdasarkan ISO 7547 tahun 2002 bisa dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Koefisien Total Heat Transfer

<i>Surfaces</i>	<i>Total heat transfer coefficient. kW/(m²K)</i>
<i>Weather deck not exposed to sun's radiation and ship side and external bulkheads</i>	0,9
<i>Deck and bulkhead against engine-room. cargo space or other non-air-conditioned spaces</i>	0,8
<i>Deck and bulkhead against boiler-room or boiler in engine-room</i>	0,7
<i>Deck against open air or weather deck exposed to sun's radiation and deck against hot tanks</i>	0,6
<i>Side scuttles and rectangular windows. single glazing</i>	6,5
<i>Side scuttles and rectangular windows. double glazing</i>	3,5
<i>Bulkhead against alleyway. non-sound reducing</i>	2,5
<i>Bulkhead against alleyway. sound reducing</i>	0,9

b. Beban Panas Penghuni Ruangan

Beban panas penghuni ruangan (Q_p) mempunyai nilai yang tergantung dari jumlah penghuni ruangan dan nilai kalor yang dihasilkan oleh manusia atau penghuni ruangan. Nilai kalor yang dihasilkan oleh manusia berbeda-beda sesuai dengan aktivitas yang dilakukan. Kalor yang dihasilkan oleh manusia berdasarkan aktivitasnya bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kalor Manusai

<i>ACTIVITY</i>	<i>TYPE OF HEAT</i>	<i>EMISSION (W)</i>	
<i>Seat at rest</i>	<i>Sensible heat</i>	70	120
	<i>Latent heat</i>	50	
<i>Medium/ heavy work</i>	<i>Sensible heat</i>	85	235
	<i>Latent heat</i>	150	

Dari tabel tersebut beban panas penghuni ruangan bisa dihitung dengan persamaan (3)

$$Q_p = \text{Heat Rate} \times \text{Qty Personal} \dots (3)$$

c. Beban Panas Radiasi

Besarnya beban panas radiasi (Q_s) adalah beban panas yang timbul karena dinding terkena panas sinar matahari secara langsung. Bebasnya kalor ini dipengaruhi oleh luas dinding yang terkena panas langsung (A_v), Luas jendela atau dinding kaca (A_g), koefisien perpindahan panas dinding (k), koefisien perpindahan panas kaca (G) dan perbedaan temperatur antara dalam ruangan dan luar ruangan (ΔT). Beban panas radiasi bisa dihitung dengan persamaan (4)

$$Q_s = A_v K \Delta T_r + A_g G \dots (4)$$

Besarnya koefisien perpindahan panas jendela kaca adalah $6,5 \text{ W/m}^2\text{C}$ untuk *single glass*, dan $3,5 \text{ W/m}^2\text{C}$ untuk *double glass*. Apabila posisi jendela kaca langsung terkena sinar matahari maka besarnya panas yang merambat melalui jendela kaca adalah 350 w/m^2 untuk jendela tanpa *interior shading*, dan 240 w/m^2 untuk jendela yang dilengkapi *shading*.

d. Beban Panas Lampu

Besarnya beban panas yang ditimbulkan oleh lampu penerangan dalam ruang akomodasi (Q_l) adalah besarnya kalor yang dihasilkan oleh lampu dikalikan dengan banyaknya lampu yang digunakan. Untuk perhitungan beban panas lampu pada ruang akomodasi kapal biasanya ditentukan dengan mengalikan standar kalor lampu tiap satuan luas (K) dikalikan dengan luas ruangan akomodasi (A). Beban panas lampu bisa dihitung dengan persamaan (5). Standar panas penerangan ruang akomodasi bisa dilihat pada tabel 4.

$$Q_l = K \times A \dots (5)$$

Tabel 4. Standar Panas Penerangan Ruang Akomodasi

No	Space	Heat Gain From General Light (W/m^2)	
		Incandescent	Fluorecent
1	Cabin etc.	15	8
2	Mess or Dining Room	20	10
3	Gymnasium etc.	40	20

e. Beban Panas Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam ruang akomodasi kapal, terutama peralatan elektronik akan menghasilkan panas yang diteruskan ke ruangan. Jumlah panas yang ditimbulkan oleh peralatan dalam suatu ruang tergantung dari jenis dan ukuran peralatan yang digunakan, menyesuaikan data dari pabrikan peralatan. Besarnya panas yang diakibatkan oleh peralatan listrik yang digunakan dalam suatu ruangan (Syeihan, 2018) disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Panas Peralatan Listrik

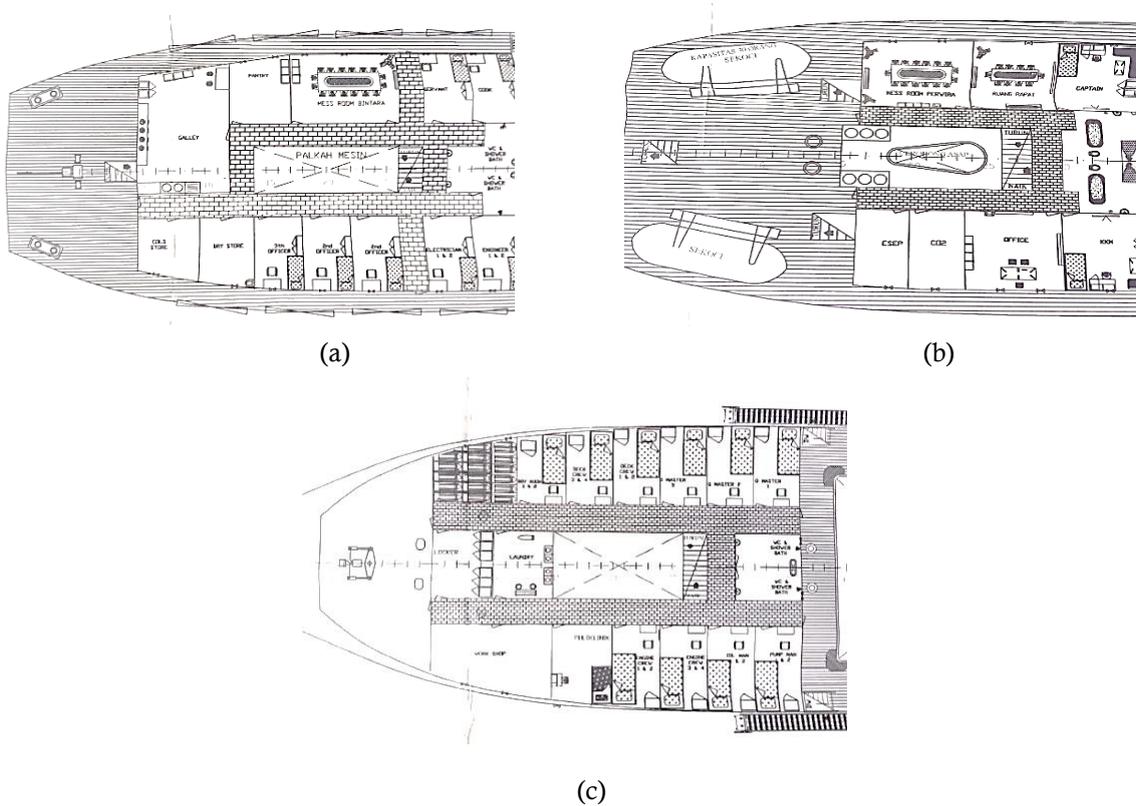
Nama Ruangan	Panas Lampu (Watt)
Wheel House	1000 – 2500
CIC Room	1000 – 2500
Radio Room	500 – 2500
Mess Room	100 – 500
Engine Control Room	3500 – 7500

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal General Cargo KM Pratiwi memiliki data-data utama seperti tertulis pada Tabel 6. Adapun posisi dan jenis ruang akomodasi bisa dilihat pada Gambar 1.

Tabel 6. Data Utama Kapal

Tipe Kapal	General Cargo
Lpp	80,20 M
LwL	81,80 M
Lebar (B)	12,30 M
Tinggi geladak (H)	7,00 M
Sarat air (T)	5,10 M
Kecepatan dinas (Vs)	10,60 Knot
Main Engine	6 MG 31 EZ



Gambar 1. Posisi Ruang Akomodasi Kapal (a) Boat Deck (b) Pop Deck (c) Main Deck

- a. **Beban Panas Transmisi**
 Beban transmisi dihitung dengan terlebih dahulu menentukan luas setiap sisi ruangan. Kemudian menentukan perbedaan temperatur antara di dalam ruangan dengan temperatur sisi luar tiap sisi atau dinding ruangan. Perbedaan temperatur bisa didapatkan dengan pengukuran langsung, atau bisa juga dengan menggunakan perbedaan temperatur standar berdasarkan ISO 7457 sebagaimana tertulis pada Table 1. Kemudian menentukan koefisien perpindahan panas sesuai dengan jenis dan posisi dinding ruangan. Besarnya koefisien heat transfer ini bisa dilihat pada Tabel 2.
 Perhitungan beban panas transmisi menggunakan persamaan (2) disajikan contoh perhitungan untuk ruang Mess Room Perwira pada Boat Deck dengan data luas ruangan dan posisi dinding seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Luas Ruangan dan Dinding Mess Room Perwira

Posisi Dinding	Av	Ag
Atas	7,5	
Kanan	6,6	
Kiri	6,6	0,44
Depan	5,5	
Belakang	5,5	

Persamaan (2) digunakan untuk menghitung beban panas transmisi setiap sisi ruangan. Sebagai contoh perhitungan beban panas transmisi transmisi pada sisi kiri ruang *mess room* perwira, ΔT pada Tabel 1 ditentukan sebesar 14 K, kv dan kg pada table 2 ditentukan sebesar 0,9 dan 6,5 kW/M²K. Sehingga bisa dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_t = \Delta T ((k_v \times A_v) + (k_g \times A_g))$$

$$Q_t = 14 ((0,9 \times 6,6) + (6,5 \times 0,44))$$

$$Q_t = 123,2 \text{ Watt}$$

Perhitungan tersebut digunakan untuk beban panas transmisi semua ruangan yang ada di kapal. Dengan cara yang sama diperoleh data beban panas transmisi seluruh ruangan akomodasi kapal seperti disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Beban Panas Transmisi

DECK	PANAS TRANSMISI (Watt)
MAIN DECK	1.181
POP DECK	1.059
BOAT DECK	1.288
TOTAL	3.528

b. Beban Panas Penghuni Ruangan

Beban panas penghuni ruangan ditentukan dengan persamaan (3). Terlebih dahulu ditentukan jumlah penghuni yang ada pada tiap ruangan dan dikalikan dengan kalor yang ditimbulkan oleh penghuni. Besarnya kalor yang dikeluarkan manusia bisa dilihat pada Tabel 3. Perhitungan panas penghuni ruangan pada *Boat Deck* disajikan pada Tabel 7. Hasil perhitungan beban panas manusia secara keseluruhan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Kalor Penghuni Ruangan Boat Deck

RUANG AKOMODASI	PENGHUNI	KALOR MANUSAIA (Watt)		KALOR PENGHUNI (Watt)
		SENSIBEL	LATEN	
<i>MESS ROOM</i>				
PERWIRA	3	70	50	360
RUANG RAPAT	8	70	50	960
RUANG CAPTAIN	1	70	50	120
RUANG OFFICE	3	70	50	360
RUANG KKM	1	70	50	120
JUMLAH				1920

Tabel 8. Beban Panas Manusia

DECK	PANAS MANUSAIA (Watt)
MAIN DECK	4.465
POP DECK	3.525
BOAT DECK	1.920
TOTAL	9.910

c. **Beban Panas Radiasi**

Beban panas radiasi adalah beban panas yang diterima dinding ruangan yang terkena sinar matahari secara langsung. Untuk menghitungnya bisa digunakan persamaan persamaan (4). Pertama dilakukan perhitungan luas permukaan pada sisi kapal yang terkena sinar matahari baik dinding kapal (Av) maupun jendela kaca (Ag), kemudian menentukan perbedaan temperatur antara luar dan dalam ruangan. Koefisien perpindahan panas dipilih untuk dinding dan jendela kaca. Contoh perhitungan beban panas radiasi sinar matahari diambil perhitungan untuk ruangan *office* dengan data pada Table 9.

Tabel 9. Data Luas Ruang dan Dinding *Office*

Posisi Dinding	Av	Ag
Atas	6,25	
Kanan	5,5	
Kiri	5,5	0,44
Depan	5,5	
Belakang	5,5	

Perhitungan dilakukan untuk dinding yang terkena sinar matahari langsung, yaitu dinding kiri.

$$Q_s = A_v K \Delta T_r + A_g G$$

$$Q_s = (5,5 \times 0,6 \times 16) + (0,44 \times 350)$$

$$Q_s = 206,8 \text{ Watt}$$

Perhitungan tersebut digunakan untuk beban panas radiasi semua ruangan yang ada di kapal. Dengan cara yang sama diperoleh data beban panas radiasi seluruh ruangan akomodasi kapal seperti disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Panas Radiasi Keseluruhan

DECK	PANAS Radiasi (Watt)
<i>MAIN DECK</i>	1.336
<i>POP DECK</i>	1.402
<i>BOAT DECK</i>	962
TOTAL	3.700

d. **Beban Panas Lampu Penerangan**

Panas yang ditimbulkan dari penggunaan lampu di dalam ruang akomodasi kapal juga perlu diperhitungkan. Jumlah panas lampu dipengaruhi oleh jenis dan daya lampu serta jumlah lampu yang digunakan. Mengacu pada ISO 7547 tahun 2002 besar panas lampu dihitung dengan pendekatan besar luas ruangan dikalikan dengan faktor beban panas lampu tiap luasan lantai sesuai dengan jenis ruangnya, seperti tertulis pada Tabel 4. Hasil perhitungan beban panas lampu di semua ruangan akomodasi disajikan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Panas Lampu Keseluruhan

DECK	PANAS Lampu (Watt)
<i>MAIN DECK</i>	493
<i>POP DECK</i>	528
<i>BOAT DECK</i>	319
TOTAL	1.340

e. **Beban Panas Peralatan**

Beban panas peralatan dihasilkan dari pemakaian peralatan elektronik di ruang akomodasi. Estimasi panas yang sebabkan oleh peralatan listrik yang digunakan dalam suatu ruangan bisa dilihat dalam Tabel 5. Dari seluruh ruangan yang ada, dihasilkan nilai hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Panas Peralatan Keseluruhan

DECK	PANAS Peralatan (Watt)
<i>MAIN DECK</i>	2.400
<i>POP DECK</i>	2.500
<i>BOAT DECK</i>	1.000
TOTAL	5.900

f. Beban Total Pendinginan

Beban total pendinginan didapatkn dari penjumlahan panas transmisi (Q_t), beban panas dari penghuni ruangan (Q_p), beban panas radiasi yang melalui dinding (Q_s), beban panas lampu penerangan ruangan (Q_l), dan beban panas dari peralatan elektronik yang digunakan dalam ruangan (Q_m). Sehingga beban panas ruangan bisa dihitung sebagai berikut

$$Q = Q_t + Q_p + Q_s + Q_l + Q_m$$

$$Q = 3528 + 9910 + 3700 + 1340 + 5900$$

$$Q = 24.378 \text{ Watt} = 24,378 \text{ kW}$$

KESIMPULAN

Hasil penelitian menghasilkan :

1. Perhitungan beban pendinginan ruang akomodasi kapal General Cargo KM Pratiwi 2055 DWT menghasilkan kalor transmisi sebesar 3528 Watt, kalor penghuni ruangan sebesar 9910 Watt, panas radiasi yang melalui dinding sebesar 3700 Watt, panas lampu penerangan ruangan sebesar 1340 Watt, dan beban panas dari peralatan elektronik sebesar 5900 Watt.
2. Total beban pendinginan dari mesin pendingin adalah 24.378 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utomo, B. (2007). Sistem Ventilasi dalam Kapal. *Teknik*, 28(1), 76–82.
- [2] Al hasbi MM, G., Budiarto, U., & Amiruddin, W. (2016). Analisis Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi KOMPRESI Uap pada Kapal Ikan Ukuran 5 GT di Wilayah Rembang. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4).
- [3] Syeihah Syahrul Syah, Novi Sukma Drastiawati, Helmy Taufan, 2007, Perhitungan Cooling Capacity Yang Dibutuhkan Pada Kapal Tanker 17500 LTDW, *Otopro Volume 14 No. 1*, pp. 16-12.
- [4] Bobby Xaverius, Helmy Taufan, Novi Sukma Drastiawati, 2019, Studi Cooling Capacity Kapal Cepat Rudal 60 Meter (Studi Kasus Pada Kapal KCR 60 Batch di PT PAL Indonesia), *Otopro Volume 14 No. 2*, pp 59-63.
- [5] ISO 7547 2002. Air Conditioning And Ventilation Of Accommodation Spaces On Board Ships – Design Conditions And Basic Of Calculations. ISO, Switzerland.