



EFEKTIVITAS KEEL COOLER PADA SISTEM PENDINGIN MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL

* Syerly Klara, Muhammad Iqbal Nikmatullah, dan Muhammad Faizal
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin
*elikapal83@gmail.com

Abstrak

Kapal OT. Skylie merupakan salah satu jenis kapal *tanker* yang diproduksi oleh PT. Samudra Marine Indonesia, dalam pembangunannya mengaplikasikan *keel cooler* sebagai alat pendingin mesin utama penggerak kapal. *Keel cooler* ini merupakan salah satu alat penukar kalor tipe baru yang diaplikasikan di bidang perkapalan. Sistem pendingin dengan menggunakan *keel cooler* merupakan salah satu sistem pendingin sirkuit tertutup yang dipasang secara *eksternal* pada lambung kapal di bawah permukaan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai perpindahan panas menyeluruh dan pengaruh dari perubahan *power/torque* kapal terhadap efektivitas penukar kalor tipe *keel cooler*. Dalam analisa menggunakan dua metode, yaitu analisis dan simulasi CFD dengan menggunakan aplikasi Ansys CFX R20. Berdasarkan hasil perhitungan pada beberapa kondisi *power/torque* kapal diperoleh nilai perpindahan kalor terbesar yaitu $5,599 \times 10^5$ W pada kondisi *power* 100% dan nilai terendah sebesar $5,055 \times 10^5$ W pada kondisi *power* 10%. Sementara itu untuk nilai efektivitas terbesar yaitu 79,985% dan nilai terkecil sebesar 79,839%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *keel cooler* pada kapal OT. Skylie sudah memenuhi nilai standar efektivitas untuk sebuah *heat exchanger* yaitu sebesar 50%.

Kata Kunci: Perpindahan Panas, Efektivitas *Keel Cooler*, *power/torque*

Abstrct

OT ship. Skylie is a type of tanker produced by PT. Samudra Marine Indonesia, in its construction, applies a keel cooler as a cooling device for the main engine propulsion of ships. This keel cooler is a new type of heat exchanger which is applied in the shipping sector. The cooling system using a keel cooler is a closed circuit cooling system that is installed externally on the ship's hull below the surface of the water. This study aims to determine the overall heat insulation value and the effect of changes in ship power/torque on the effectiveness of the keel cooler type heat exchanger. In the analysis using two methods, namely CFD analysis and simulation using the Ansys CFX R20 application. Based on the calculation results in several power/torque conditions of the ship, the highest heat breakdown value is 5.599×10^5 W at 100% power condition and the lowest value is 5.055×10^5 W at 10% power condition. Meanwhile, the highest effectiveness value is 79.985% and the smallest value is 79.839%. So it can be concluded that the use of the keel cooler on the OT ship. Skylie has met the effectiveness standard value for a heat exchanger, which is 50%.

Keyword: Heat Transfer, *Keel Cooler Effectiveness*, *power/torque*

1. PENDAHULUAN

Kapal Tanker merupakan sebuah kapal yang didesain secara khusus untuk mengangkut atau membawa minyak, cairan kimia, maupun cairan lainnya. Jenis kapal ini memiliki ciri khusus yaitu memiliki banyak pipa yang berada diatas bagian dek kapal.

Pada umumnya di kapal ada dua cara untuk mendinginkan mesin utama ataupun mesin bantu yaitu dengan menggunakan sistem pendingin secara langsung (terbuka) dan sistem pendingin secara tidak langsung (tertutup), dari kedua sistem tersebut yang paling umum digunakan di kapal yaitu sistem pendingin tertutup



[1]. Fungsi dari sebuah sistem pendingin yang dipasang pada mesin kapal yaitu, untuk menjaga temperatur mesin agar selalu berada di temperatur operasinya. Hal ini diperlukan karena mesin beroperasi secara optimum di temperatur operasinya, sehingga mesin kapal dapat bekerja dengan efektif dan beroperasi selama berjam-jam lamanya. Hilangnya energi paling sering dari mesin adalah dalam bentuk energi panas, untuk menghilangkan energi panas yang berlebihan maka harus menggunakan media pendingin berupa penukar kalor (*heat exchanger*), hal ini bertujuan untuk menghindari gangguan fungsi ataupun kerusakan pada komponen mesin [2].

Penukar kalor dirancang sedapat mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida yang terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Ada beberapa tipe penukar kalor yang digunakan di kapal, salah satu alat penukar kalor yang umumnya digunakan adalah tipe selongsong dan pipa (*shell and tube heat exchanger*). Penukar kalor tipe *shell and tube heat exchanger* mempunyai nilai efektivitas secara umum dikisaran 25% sampai dengan 40%. Dari sinilah banyak muncul penukar kalor tipe baru, salah satu tipe baru tersebut yaitu sebuah rancangan *keel cooler* [3, 4].

Pada penelitian sebelumnya diperoleh hasil bahwa variasi debit aliran mempengaruhi nilai efektivitas penukar kalor tipe *box cooler* [5]. Tetapi pada penelitian kali ini berbeda jenis penukar kalor yang digunakan, salah satu perbedaan antara tipe *box cooler* dengan *keel cooler* yaitu peletakkannya pada lambung kapal, dimana *box cooler* diletakkan di dalam sea chest sedangkan *keel cooler* diletakkan di luar lambung kapal.

Keel cooling system adalah sistem pendingin yang memakai keel. Sistem pendingin dengan menggunakan *keel cooler* merupakan salah satu sistem pendingin sirkuit tertutup yang dipasang secara eksternal pada lambung kapal di bawah permukaan air. Konsep pendinginan lunas mirip dengan penerapan radiator pada mobil. Pendingin mesin disirkulasikan melalui pendingin lunas, yang memindahkan panas dari pendingin sebelum kembali ke mesin. Pendingin lunas berada dalam kontak konstan dengan air laut yang memungkinkan sistem pendingin mentransfer panas secara efisien antara pendingin dan air laut.

Kapal OT. Skylie merupakan salah satu jenis kapal tanker yang menggunakan *cooler* sebagai sistem pendingin mesin, namun dalam pembangunan kapal OT. Skylie ini mengaplikasikan *keel cooler* sebagai alat pendingin mesin utama penggerak kapal. *Keel cooler* ini merupakan salah satu alat penukar kalor tipe baru yang diaplikasikan di dunia perkapalan, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan judul: “Efektifitas *Keel Cooler* Pada Sistem Pendingin Mesin Penggerak Utama Kapal”.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai perpindahan panas menyeluruh dan pengaruh dari perubahan *power/torque* kapal terhadap efektivitas penukar kalor tipe *keel cooler*.

2. METODE

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di ruang laboratorium *Heat Transfer* Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan berlangsung selama selama 3 bulan yaitu dari bulan Juni sampai Agustus 2022.

2.2. Objek Penelitian



Gambar 1. Pembangunan Kapal OT. Skylie dengan Sistem Pendingin *Keel Cooler*

2.2.1 Dimensi Kapal OT. Skylie

Panjang (LBP)	: 74,673 Meter
Lebar	: 18 Meter
Sarat (Draft)	: 4,5 Meter
Berat (DWT)	: 3700 Ton
Kecepatan (V)	: 10 Knot

2.2.2 Data Mesin Bantu

Merek mesin	: Cummins
Model	: KTA 50 – M2
RPM	: 1900 Rpm
Daya Mesin	: 1530 Hp / 1141 Kw

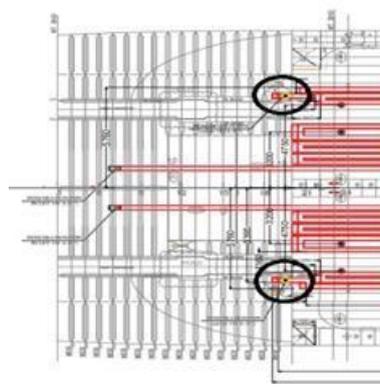
2.2.3 Spesifikasi Material *Keel Cooler*

Jenis Material	: Baja
Ukuran plat	: 250 x 90 x 9 x 1200 mm
Jumlah plat	: 34/34
Total plat	: 68 batang

Gambar *Keel Cooler* yang akan diteliti:



Gambar 2. *Keel Cooler* Pada Kapal OT. Skylie



Gambar 3. Letak Penetrasi *Keel Cooler*

2.3. Data Variasi *Power/Torque* Mesin Utama Kapal

Data yang diperoleh pada tabel 1 variasi *power/torque* mesin utama kapal diperoleh dari pengukuran secara langsung atau data yang diperoleh dari PT. Samudera Marine Indonesia ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

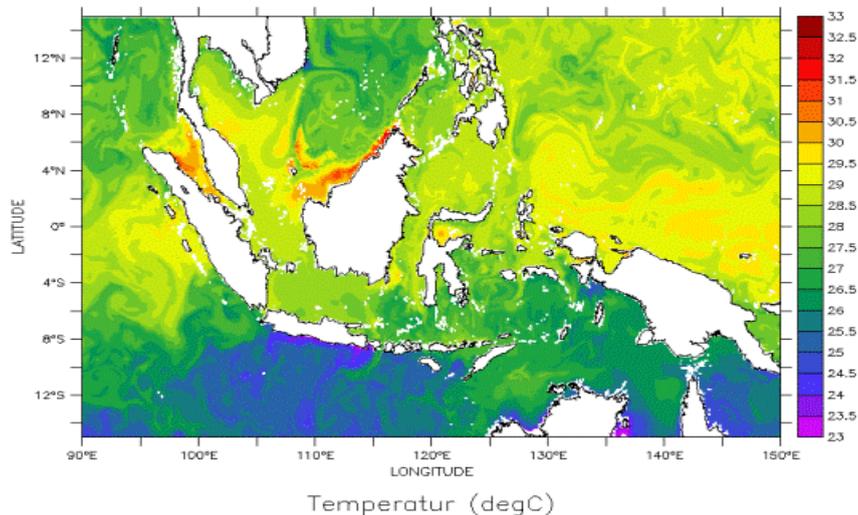
Tabel 1. Variasi *Power Torque* Kapal

Mode	1	2	3	4	5
<i>Power/torque</i> %	100	75	50	25	10
Speed %	100	100	100	100	100
Power kW	402	301	202	101	41
Exhaust temperature °C	544	513	473	361	257
Cylinder coolant temperature out °C	82	81	80	78	77

2.4. Data Suhu Air Laut Indonesia

Pada perairan Indonesia, khususnya pada perairan laut Jawa memiliki suhu permukaan laut maksimum sebesar 31°C dan suhu permukaan air laut minimum sebesar 28°C.





Gambar 4. Peta Suhu Air Laut

3. ANALISIS KASUS

Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu seberapa besar pengaruh sebuah kinerja penukar kalor terhadap sistem pendinginan mesin utama kapal OT, Skyline. Dimana alat penukar kalor yang digunakan di kapal ini sangat berbeda dengan alat penukar kalor yang biasanya digunakan pada kapal secara umum, alat penukar kalor yang digunakan adalah *keel cooler* yang terdiri dari beberapa kumpulan plat yang berbentuk persegi panjang. Konsep dari keel cooler ini yaitu dipasang di luar lambung kapal dan proses perpindahan kalor secara alami antara fluida panas yang keluar dari mesin lalu masuk ke pipa yang diletakkan di luar lambung kapal dengan media fluida pendinginnya yaitu air laut yang berada di luar kapal. Mengacu pada rumusan masalah yang telah disusun sebelumnya, bahwa *power/torque* dari mesin utama akan divariasikan, berdasarkan variasi *power/torque* akan diketahui seberapa besar pengaruh kinerja alat penukar kalor ini terhadap sistem pendinginan mesin utama kapal.

Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu analisis dan simulasi CFD. Metode analisis dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan yang diperoleh dari beberapa buku dan penelitian sebelumnya. Sementara metode simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan aplikasi Ansys CFX R20, dimana simulasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai temperatur air pendingin setelah melewati *keel cooler system* dan distribusi panas pada aliran dalam pipa. Pada metode CFD pembuatan model dilakukan dengan menggunakan aplikasi desain Rhinoceros 6 dengan menggunakan data yang diperoleh atau diberikan oleh PT. Samudera Marine Indonesia. Hasil analisis dan simulasi CFD kemudian dibandingkan untuk mengetahui, apakah hasil analisis yang dilakukan sudah sesuai dengan hasil simulasi CFD. Apabila hasil yang diperoleh dari hasil analisis dengan simulasi CFD sudah sesuai, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa terkait kinerja dari alat penukar kalor *keel cooler* ini.

Untuk mengetahui pengaruh kinerja tersebut, maka akan dicari tahu nilai variabel yang berpengaruh, diantaranya yaitu nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh, $\Delta LMTD$ (nilai beda suhu rata-rata), nilai perpindahan kalor total dan nilai efektivitas. Kemudian setelah didapatkan nilai dari variabel yang berpengaruh, maka akan ditarik sebuah kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang telah disusun sebelumnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan Keel Cooler

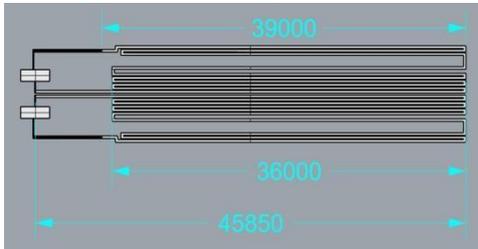
Pada tahap ini, dilakukan penggambaran model penelitian berupa plat-plat yang berbentuk balok (*keel cooler*), yang kemudian akan dianalisis dan disimulasikan pada tahap selanjutnya. *Keel cooler system* ini terdiri dari 68 plat yang disusun sebagai pipa yang diletakkan di luar lambung kapal. Pada proses pembuatan model ini dilakukan dengan menggunakan Aplikasi desain Rhinoceros 6.

4.1.1 Panjang, Lebar, Tinggi dan Jumlah Pipa Keel Cooler

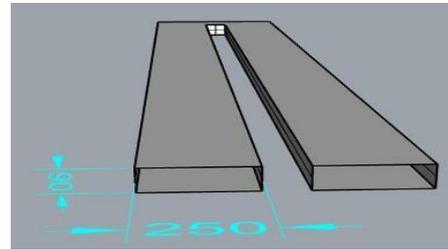


Pada *keel cooler* ini terdiri dari 68 plat yang dibentuk balok dengan 34 plat pada sisi kiri dan 34 plat pada sisi kanan. Jika plat-plat tersebut digabungkan maka akan membentuk 10 jenis pipa (penampang berbentuk balok) pada sisi kiri dan kanan, yang terdiri dari 1 buah pipa *inlet*, 1 buah pipa *outlet* dan 8 buah pipa dengan dimensi panjang yang sama.

Panjang Pipa *Inlet* : 45.850 mm
 Panjang Pipa *Outlet* : 39.000 mm
 Panjang Pipa Sama : 36.000 mm



Gambar 5. Panjang Pipa *Keel Cooler*



Gambar 6. Dimensi Lebar dan Tinggi

4.2. Perhitungan Analisa Kinerja *Keel Cooler System*

4.2.1 Menentukan Temperatur Fluida Panas Yang Keluar (Thout)

Temperatur fluida panas yang keluar setelah melewati *keel cooler system* ditentukan dengan metode analisa dan simulasi CFD, dimana simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys CFX R20. Adapun untuk nilai perbandingan hasil analisis dan simulasi CFD dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Perbandingan Nilai Temperatur Analisis Dengan Simulasi

No	Power Kapal (%)	T _{inlet} (°C)	T _{hitung} (°C)	T _{simulasi} (°C)
1	100	82	65,311	64,89
2	75	81	64,322	64,718
3	50	80	63,325	64,545
4	25	78	61,354	64,2
5	10	77	60,365	64,028

4.2.2 Menghitung Beda Suhu Keseluruhan Rata Rata Logaritmik

Oleh karena nilai temperatur fluida panas yang masuk ke *keel cooler* dan nilai temperatur fluida dingin di sekitar *keel cooler* telah diketahui dari hasil analisis dan simulasi Ansys. Maka nilai Δ LMTD dapat

dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8) dimana:

$$\Delta T_1 = T_{hin} - T_{cout} = (82^{\circ}\text{C} - 31,1^{\circ}\text{C}) = 50,9^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{hin} - T_{cin} = (82^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) = 52^{\circ}\text{C}$$

Jadi, Nilai Δ LMTD yaitu :

$$\Delta\text{LMTD} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1/\Delta T_2) = 51,448^{\circ}\text{C}$$

Tabel 3. Beda Suhu Keseluruhan Rata-Rata *Logarithmic*

No	Kondisi Kapal (%)	ΔT_1 (°C)	ΔT_2 (°C)	Δ LMTD (°C)
1	100	50,9	52	51,448
2	82	49,9	51	50,448
3	80	48,9	50	49,447
4	78	46,9	48	47,447
5	77	45,9	47	46,447

4.3. Perpindahan Kalor Total

Perpindahan kalor total dapat dianggap sebagai aliran, yaitu perbandingan antara beda potensial termal pipa terhadap tahanan termal pipa. Dengan demikian dapat dihitung perpindahan kalor. Untuk mengetahui perpindahan kalor total pada *keel cooler*, digunakan penjumlahan antara perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi serta rumus pendekatan, sebagai berikut:

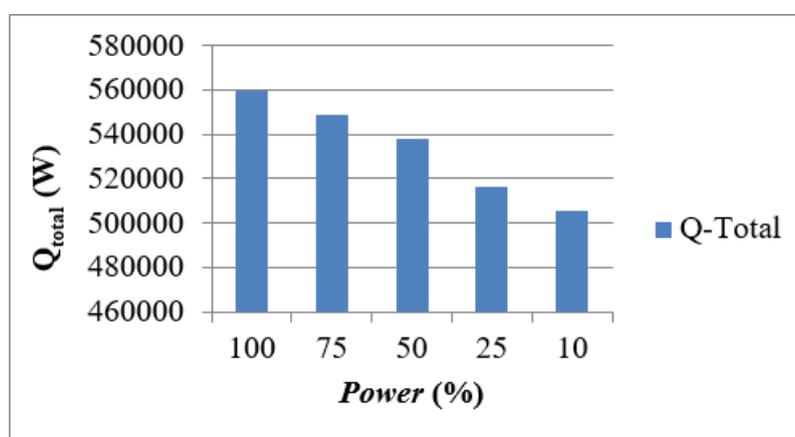
$$Q_{total} = m_h C_p \Delta T \quad (1)$$

Dimana:

m_h = laju aliran massa fluida panas
= 7,794 kg/s
 C_p = Panas jenis fluida panas
= 4,2 kJ/kg^oC

ΔT = perbedaan temperature antara sisi *inlet* dan *outlet keel cooler* = 16,688^oC

Sehingga diperoleh nilai Q_{total} sebesar 5,463x10⁵ W. Adapun grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 7. Grafik Hubungan Perpindahan Kalor Total Dengan Power Kapal

Dari hasil penjumlahan diperoleh perpindahan kalor terbesar pada *Power* 100% yaitu 5,599 x 10⁵W dan perpindahan kalor terendah sebesar 5,055 x 10⁵W, sementara dari hasil perhitungan menggunakan rumus pendekatan diperoleh hasil sebesar 5,463 x 10⁵. Dimana pada hasil penjumlahan nilai perpindahan kalor total sangat berpengaruh terhadap *power* mesin, hal ini disebabkan karena pada setiap *power* mesin berbeda nilai *temperature* yang masuk ke *keel cooler*. Sementara itu untuk nilai perpindahan kalor total dengan rumus pendekatan, nilai yang diperoleh konstan pada setiap perubahan *power/torque* mesin. Nilai ini berada di rentang kondisi *power* 10-100 % sehingga hasil perhitungan nilai perpindahan kalor dengan penjumlahan dan rumus pendekatan sudah sesuai.

4.4. Efektivitas Alat Penukar Kalor

Untuk mengetahui nilai efektifitas dari alat penukar kalor maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas} = 1 - \exp(-NTU)$$

Dimana :

$$C_{min} = m_c \times C_{pc} = 22919,459 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$$

Sedangkan untuk nilai NTU didapatkan dari:

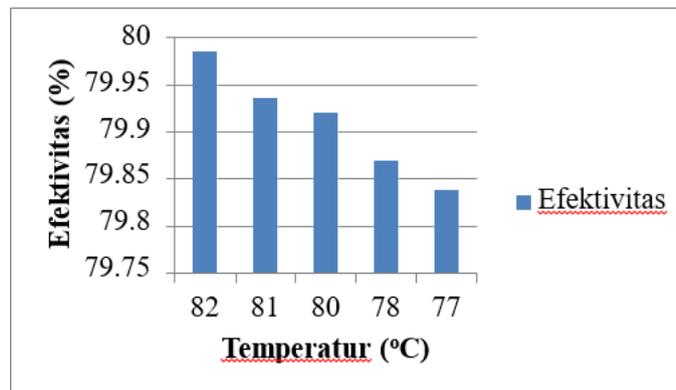
$$\begin{aligned} NTU (82^{\circ}\text{C}) &= U_{total} \times A_s / C_{min} \\ &= 1,608 \end{aligned}$$

Jadi nilai efektifitas dari penukar kalor jenis *keel cooler* pada kondisi *power/torque* 100% (82^oC)

79,985%. Tabel. 5 Efektivitas *Keel Cooler*

Tabel. 5 Efektivitas *Keel Cooler*

Power Kapal (%)	As (m)	Utotal (W/mC)	NTU	Efektifitas (%)
100	253,9	145,168	1,608	79,985
75	253,9	144,940	1,606	79,935
50	253,9	144,872	1,605	79,919
25	253,9	144,647	1,602	79,869
10	253,9	144,510	1,601	79,839



Gambar 8. Grafik Hubungan Temperatur Dengan Nilai Efektivitas *Keel Cooler*

Dari grafik di atas diketahui bahwa nilai efektivitas (ϵ) dari penukar kalor jenis *keel cooler* hasil analisis dan simulasi terbesar diperoleh pada suhu 82°C dan nilai terendah diperoleh pada suhu 77°C. Hal ini menunjukkan semakin besar nilai temperatur yang masuk ke *keel cooler*, maka akan semakin besar pula nilai efektivitasnya. Maksud dari nilai efektivitas yang didapat ini, yaitu alat penukar kalor ini dapat memindahkan ataupun menyerap energi dalam bentuk energi panas sebesar nilai yang didapat pada perpindahan panas total sesuai kondisi kapal.

Dari patokan referensi nilai efektivitas untuk sebuah *heat exchanger* atau alat penukar panas berkisaran di atas 50% [6], sehingga dapat diketahui bahwa nilai efektivitas dipengaruhi oleh nilai kalor yang digunakan (Q_{aktual}). Jadi, semakin besar nilai kalor yang digunakan (Q_{aktual}), maka nilai efektivitasnya semakin naik. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini bahwa penukar kalor tipe *keel cooler* ini dapat digunakan pada sistem pendingin mesin utama kapal OT. Skyline yang diproduksi oleh PT. Samudera Marine Indonesia.

5. KESIMPULAN

Nilai perpindahan kalor total dari alat penukar kalor keel cooler system ini pada 5 kondisi power/torque mesin utama sesuai dengan kondisi kapal yaitu:

Pada kondisi *power/torque* 100%, 75%, 50%, 25%, dan 10%.

- 1) Nilai perpindahan kalor total pada alat penukar kalor tipe keel cooler system yang diperoleh dari 5 kondisi *power/torque* mesin kapal yaitu untuk nilai perpindahan kalor total terbesar didapatkan pada kondisi *power/torque* kapal 100% sebesar $5,599 \times 10^5 \text{W}$, dan nilai perpindahan kalor total terkecil didapatkan pada kondisi *power/torque* kapal 10% sebesar $5,055 \times 10^5 \text{W}$.
- 2) Nilai efektivitas dari alat penukar kalor tipe *keel cooler system* yang didapat dari data berdasarkan keadaan *power/torque* yang berbeda diperoleh nilai efektivitas terbesar didapatkan pada kondisi *power/torque* kapal 100% sebesar 79,985%, dan untuk nilai efektivitas terkecil didapatkan pada kondisi *power/torque* kapal 10% sebesar 79,839%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. setyana, “1200GT dengan menggunakan sistem keel cooler,” pp. 1–13.
- [2] Cengel, Yunus A, *Heat Transfer : A Practical Approach*, Second Edition. McGraw-Hill Science Engineering Math, 2002.
- [3] Blokland Box Cooler Spesification, *Drawing of BoxCooler and Calculation*, Ielystraat 1063364 AJ Sliedrecht, Holland, 2019.
- [4] Ozisik, M. N, *Heat Transfer*, McGraw-Hil International Book Company, Wiley, New York, U.S, 1985.
- [5] Idawati, 2021. “Analisis Efektifitas Penukar Kalor *U-Tube Bundle* Pada Sistem Pendingin Mesin Penggerak Utama Kapal”. Skripsi Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin.
- [6] Muhammad Aidil Hikma, 2021. “Kinerja Penukar Kalor Tipe *U-Tube Bundle* Terhadap Sistem Pendingin Mesin Bantu Kapal”. Skripsi Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin.

