

## ANALISA PERPINDAHAN PANAS *HEAT EXCHANGER* MESIN INDUK (STUDI KASUS: KM. SUMBER MUTIARA)

Rizqi Ilmal Yaqin<sup>1</sup>, Miftahul Huda<sup>1</sup>, Mula Tumpu<sup>1</sup>, Yuniar Endri Priharanto<sup>1</sup>, Juniawan Preston Siahaan<sup>1</sup>, Bobby Demeianto<sup>1</sup>, Bambang Hari Priyambodo<sup>2</sup>, Mega Lazuardi Umar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Warga Surakarta

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

Email: <sup>1</sup>r.ilmalyaqin@politeknikkpdumai.ac.id

### Abstrak

*Heat exchanger* (HE) merupakan bagian komponen sistem pendingin mesin induk yang sangat berperan dalam proses menurunkan temperatur fluida. Penggunaan HE pada sistem pendingin mesin induk sudah selayaknya perlu diperhatikan dalam pengontrolan setelah beroperasi. Unjuk kerja HE dapat dianalisa menggunakan analisa perpindahan panas baik berupa panas yang diserap HE ( $Q$ ), LMTD dan koefisien perpindahan panas ( $U$ ). Penelitian ini bertujuan menganalisa perpindahan panas berupa perhitungan panas yang diserap, LMTD dan koefisien perpindahan panas pada HE mesin induk KM Sumber Mutiara. Penelitian ini mengukur suhu-suhu air tawar dan air laut yang masuk dan keluar pada HE. Selain itu pengukuran debit air dan penentuan dimensi dari HE yang digunakan untuk sistem pendingin mesin induk KM Sumber Mutiara. Penelitian ini didapatkan hasil nilai panas yang diserap oleh HE ( $Q$ ) tertinggi yaitu pada RPM 1200 sebesar 44,85 kJ/s, untuk nilai LMTD pada RPM 1000 sebesar 45,69°C dan untuk nilai  $U$  pada RPM 1100 sebesar 824 W/m<sup>2</sup>.°C. HE mesin induk KM Sumber Mutiara belum maksimal dalam kinerjanya dikarenakan adanya faktor fouling/pengotor dari air laut. Perlunya perawatan preventif dan penambahan filter pada *Heat Exchanger* Mesin Induk KM Sumber Mutiara untuk meningkatkan efektifitas HE.

**Kata Kunci:** Alat Penukar Panas, Koefisien perpindahan panas, LMTD, Panas yang diserap

### Abstract

*Heat exchanger* (HE) is a component of the main engine cooling system that plays a very important role in the process of changing the fluid temperature by exchanging the amount of heat with other fluids. The use of HE in the main engine cooling system should be considered in controlling after operation. HE performance can be analyzed using heat transfer analysis in the form of heat absorbed by HE ( $Q$ ), LMTD and heat transfer coefficient ( $U$ ). This study aims to analyze heat transfer in the form of calculations of absorbed heat, LMTD and heat transfer coefficient on the main engine HE KM Sumber Mutiara. This study measures the temperatures of fresh water and sea water entering and leaving the HE. In addition, measurement of water discharge and determination of the dimensions of the HE used for the main engine cooling system of KM Sumber Mutiara. This research shows that the highest heat value absorbed by HE ( $Q$ ) is at RPM 1200 at 44.85 kJ/s, for the LMTD value at RPM 1000 at 45.69 °C and for the  $U$  value at RPM 1100 at 824 W/m<sup>2</sup>. °C. HE main engine KM Sumber Mutiara has not maximized its performance due to the fouling factor from sea water. The need for preventive maintenance and additional filters on the KM Sumber Mutiara Main Machine Heat Exchanger to increase the effectiveness of the HE.

**Keywords:** Heat exchanger, Heat transfer, LMTD, Heat transfer coefficient

## I. PENDAHULUAN

Kapal perikanan merupakan salah satu alat transportasi laut utama yang digunakan untuk nelayan guna menangkap ikan. Salah satu faktor yang mempengaruhi efektifitas dan efisiensi kapal yaitu mesin penggerak kapal (Pamikiran, 2013). Penggunaan motor diesel sebagai mesin penggerak kapal sudah umum digunakan oleh nelayan. Hal tersebut dikarenakan konsumsi bahan bakar lebih hemat daripada motor bensin (Utomo, 2020). Selain itu motor diesel memiliki daya yang lebih kuat dari pada motor jenis lainnya. Penggunaan motor diesel pada penggerak kapal dioperasikan selama 24 jam selama satu minggu penuh hingga satu bulan tanpa berhenti (Saputra et al., 2018; Ziliwu et al., 2021). Penggunaan mesin yang berjam-jam perlu ditunjang dengan sistem pendingin agar energi panas yang dihasilkan oleh mesin saat beroperasi berkurang. Sistem penunjang pada mesin diesel merupakan komponen penting untuk menunjang mesin diesel beroperasi dengan efektif (Pratama et al., 2022). Salah satu sistem penunjang mesin induk yang penting di perhatikan saat beroperasi yaitu sistem penunjang (Nusantara, 2015). Sistem pendingin pada mesin diesel digunakan agar mesin diesel yang digunakan dapat bekerja pada temperatur kerja (Bizzy & Setiadi, 2013; Syaichurrozi et al., 2014). Tanpa adanya sistem pendingin dapat berakibat *over heating* pada beberapa komponen mesin diesel. *Over heating* terjadi dikarenakan adanya perpindahan panas yang terjadi di dinding penukar kalor hasil dari kombinasi perpindahan panas secara konveksi dan konduksi (Tambunan et al., 2019). Keberadaan sistem pendingin sangat penting untuk meningkatkan efisiensi mesin dan menghindari kerusakan dari komponen-komponen mesin saat beroperasi (Pongkessu et al., 2018). Sistem pendingin yang sering digunakan mesin induk kapal umumnya menggunakan sistem pendingin tertutup.

Alat Penukar Panas atau *Heat Exchanger (HE)* merupakan bagian komponen sistem pendingin yang berperan dalam proses mengubah suhu fluida dengan cara mempertukarkan jumlah kalor dengan fluida lainnya (Prasetyo et al., 2019; Suyatno et al., 2017). HE merupakan salah satu peralatan bantu di kapal yang digunakan untuk mendinginkan fluida pendingin mesin induk. HE pada mesin kapal berfungsi untuk menyerap panas dari air pendingin dan air pendingin tersebut yang digunakan untuk mendinginkan mesin sehingga mesin dapat beroperasi secara efektif (Leonard, 2012). HE memiliki prinsip yaitu dengan dua jenis fluida yang berbeda suhu dialirkan ke dalam HE dan saling bertukar kalor melalui bidang-bidang perpindahan

panas baik secara langsung maupun tak langsung. Penggunaan HE pada mesin induk yang digunakan dapat mengoptimalkan suhu fluida pendingin sehingga tidak terjadi kegagalan pada mesin induk (Nireesh et al., 2019). Hal tersebut menjadikan penilaian unjuk kerja perpindahan panas pada HE sangat diperhatikan dalam pengoperasian mesin induk.

Unjuk kerja pada HE perlu ditinjau dengan persamaan perpindahan panas. Perpindahan panas pada HE sendiri tergantung dari suhu fluida pendingin dan fluida yang didinginkan. Fenomena perpindahan panas tersebut merupakan cara untuk melepaskan dan menerima panas dalam suatu proses sehingga suhu yang dihasilkan akan mengalami perubahan (Wicaksono et al., 2018). Perpindahan panas yang terjadi pada HE yaitu perpindahan panas konduksi dan konveksi. Dua tipe perpindahan panas tersebut mempengaruhi dari unjuk kerja HE. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam analisa performansi dari perpindahan panas pada penggunaan HE di sistem pendingin pembangkit listrik sehingga mendapatkan nilai laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas dan nilai LMTD. Perbedaan keadaan ditunjukkan dengan kondisi HE setelah di rawat dan sebelum dirawat. Analisa perpindahan panas tersebut menjadikan adanya perbedaan terhadap efisiensi HE (Walikrom et al., 2018). Analisa perpindahan panas pada HE juga dapat mengetahui hasil performa HE pada mesin pabrik. Korelasi antara LMTD, Koefisien perpindahan kalor dan laju perpindahan kalor dapat mengetahui efisiensi dari HE tersebut. Analisa yang dilakukan dapat mengetahui pengguna dalam proses inspeksi dan perawatan HE secara berkala (Mara & Hidayatulloh, 2016). Penelitian yang lain menyatakan analisa HE dengan perbedaan fluida panas dan fluida dingin menjadikan nilai laju perpindahan panas serta nilai koefisien laju perpindahan panas mengalami perbedaan (Burmawi et al., 2021). Penelitian yang lain menyatakan suhu sistem pendingin mempengaruhi kinerja dari mesin induk kapal. Korelasi analisa perpindahan panas HE dengan turunnya tekanan ada ruang bakar mesin induk menandakan adanya pengaruh terhadap kinerja dari mesin induk (Djeli & Saidah, 2016). Evaluasi performansi dari HE dianggap perlu untuk meningkatkan efektifitas mesin yang berkaitan dengan HE. Pengontrolan suhu pada fluida pendingin dan fluida yang didinginkan pada HE perlu diperhatikan sehingga mesin akan beroperasi menjadi lebih baik (Syah, 2013). Perbedaan suhu pada HE mempengaruhi tingkat kebersihan dan perawatan. Beberapa kasus memperlihatkan adanya fouling atau endapan pasir yang menempel di pipa

pada HE menyebabkan kinerja HE menurun dan kurang optimal.

Penggunaan HE pada sistem pendingin mesin induk sudah selayaknya perlu diperhatikan dalam pengontrolan terhadap suhu-suhu fluida yang beroperasi. Perbedaan suhu pada HE pada mesin induk saat beroperasi dapat dipengaruhi oleh beban kinerja mesin induk. Salah satu parameter beban kinerja mesin dapat dilihat besar RPM yang digunakan. Berdasarkan paparan diatas tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisa perpindahan panas berupa perhitungan panas yang diserap, LMTD dan koefisien perpindahan panas pada HE sebagai komponen sistem pendingin terhadap perbedaan RPM mesin induk yang diguakan pada kapal penangkap ikan. Harapannya diketahuinya perbedaan tersebut menjadi acuan untuk melakukan perawatan yang rutin pada HE. Apabila sistem pendingin mesin diesel dilakukan perawatan yang rutin dan sesuai dengan kondisi mesin maka akan menambah masa kinerja komponen yang ada pada mesin diesel tersebut. Selain itu dapat menekan biaya teknis, operasional, dan dapat mengantisipasi kerusakan ketika mesin berkeja saat berlayar (Hakim et al., 2020).

## II. METODE

Alat Penukar Panas atau HE yang dianalisa digunakan pada sistem pendingin KM. Sumber Mutiara yang berada di Batam, Kepulauan Riau. Jenis HE yang digunakan yaitu *shell and tube* dengan merk pabrikan BOWMAN yang dapat di tunjukkan pada Gambar 1. HE yang digunakan terindikasi menggunakan aliran searah yang memiliki skema gambar aliran fluida dan grafik diagram temperatur seperti Gambar 2. Pengukuran suhu dilakukan pada pipa masuk dan keluar pada fluida air tawar sebagai pendingin mesin dan fluida laut sebagai fluida yang mendinginkan. Skema pengukuran dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Pengukuran suhu menggunakan termometer infrared (TermoGun) pada titik-titik yang sudah ditentukan. Pengukuran suhu pada HE juga memperhatikan RPM meter dari speedometer mesin induk yang digunakan. Pemilihan RPM mesin induk ditentukan oleh nakhoda kapal saat beroperasi. RPM yang digunakan dari rentang RPM 900, 1000, 1100, 1200, dan 1300 sesuai kondisi keadaan laut. Pengukuran dimensi tube pada HE menggunakan jangka sorong ketika mesin berhenti dan melakukan pembersihan pada HE. Pengukuran debit air laut fluida HE dilakukan saat keadaan kapal stasioner atau diam dengan mesin induk dalam kondisi beroperasi tanpa beban.



Gambar 1. HE pada mesin induk KM Sumber Mutiara

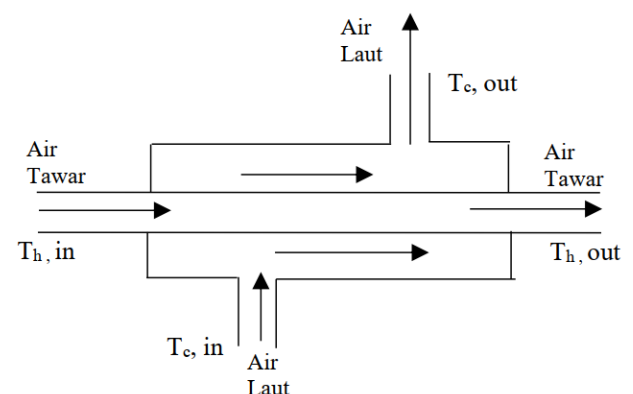
Hasil pengukuran suhu masuk dan keluar pada HE, selanjutnya dilakukan analisa perpindahan panas. Analisa performansi yang dilakukan menggunakan beberapa parameter peninjauan. Parameter laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

$$Q = U x A x LMTD \quad (1)$$

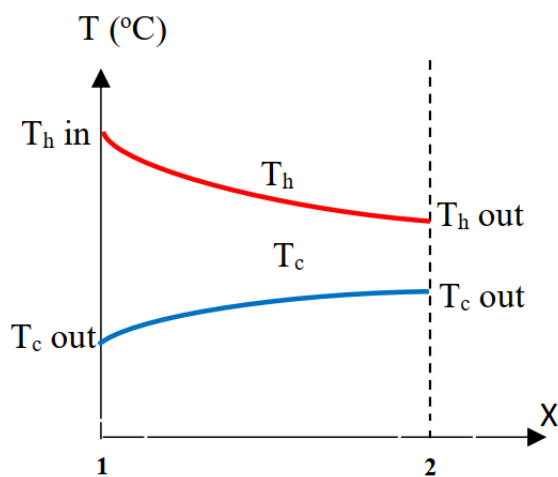
Dimana Q merupakan laju perpindahan panas HE (kJ/s), dengan U adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). Sedangkan A merupakan luas penampang dari HE ( $m^2$ ) dan LMTD yaitu *Log Mean Temperature Difference*. Berdasarkan hukum kekekalan energi didapat persamaan laju perpindahan panas keluar sama dengan laju perpindahan panas masuk. Proses perpindahan panas tidak mengalami perubahan fasa karena suhu operasi fluida tersebut maka dapat dihasilkan nilai perpindahan panas sesuai dengan persamaan 2.

$$Q_{air\ laut} = \dot{m}_{air\ laut} x C_{p\ air\ laut} (T_{c,in} - T_{c,out}) \quad (2)$$

Dimana  $\dot{m}_{air\ laut}$  merupakan laju perpindahan masa air laut yang beroperasi pada HE (kg/s).  $C_{p\ air\ laut}$  merupakan panas spesifik fluida pada tekanan konstan (4,179 kJ/kg. $^\circ C$ ).  $T_{c,in}$  adalah Suhu air laut masuk HE ( $^\circ C$ ), dan  $T_{c,out}$  adalah Suhu air laut keluar HE ( $^\circ C$ ).



Gambar 2. Skema pengukuran suhu pada HE



Gambar 3. Distribusi suhu aliran searah HE

Parameter *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) merupakan penentuan nilai perbedaan suhu yang terjadi pada HE. Penentuan LMTD tergantung jenis aliran yang diaplikasikan pada HE. Penelitian ini menggunakan HE dengan jenis searah. Profil suhu pada HE penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan untuk mencari LMTD sehingga dapat mempresentasikan unjuk kerja HE sangat bergantung dari perbedaan suhu fluida pendingin dan fluida yang didinginkan. Persamaan untuk mencari nilai LMTD yaitu ditunjukkan pada persamaan 3.

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln \left[ \frac{(T_{h,in} - T_{c,in})}{(T_{h,out} - T_{c,out})} \right]} \quad (3)$$

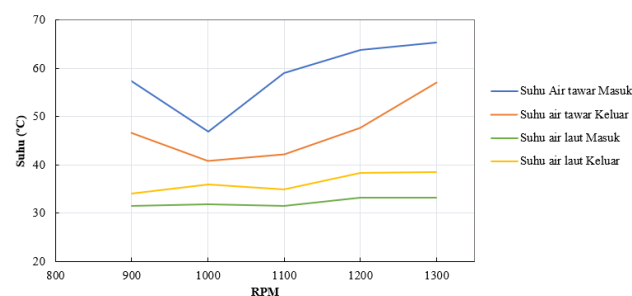
dimana LMTD adalah *Log Mean Temperature Difference*,  $T_{h,in}$  adalah Suhu air tawar masuk HE (°C),  $T_{h,out}$  adalah Suhu air tawar keluar HE (°C),  $T_{c,in}$  adalah Suhu air laut masuk HE (°C), dan  $T_{c,out}$  adalah Suhu air laut keluar HE (°C). Parameter lainnya yang mempengaruhi unjuk kerja dari HE yaitu koefisien perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas di hitung untuk mengetahui perhitungan perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas ( $U$ ) sangat mempengaruhi nilai dan hasil dari perpindahan panas pada HE. Beberapa faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas pada HE. Salah satunya yaitu geometri ketebalan dari tabung yang digunakan HE. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas HE dengan keadaan beroperasi mesin induk yaitu pada persamaan 4.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{oi}A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{A_i \ln \left( \frac{D_o}{D_i} \right)}{2\pi k l} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_{oo}A_o}} \quad (4)$$

$$U = \frac{q}{A.LMTD} \quad (5)$$

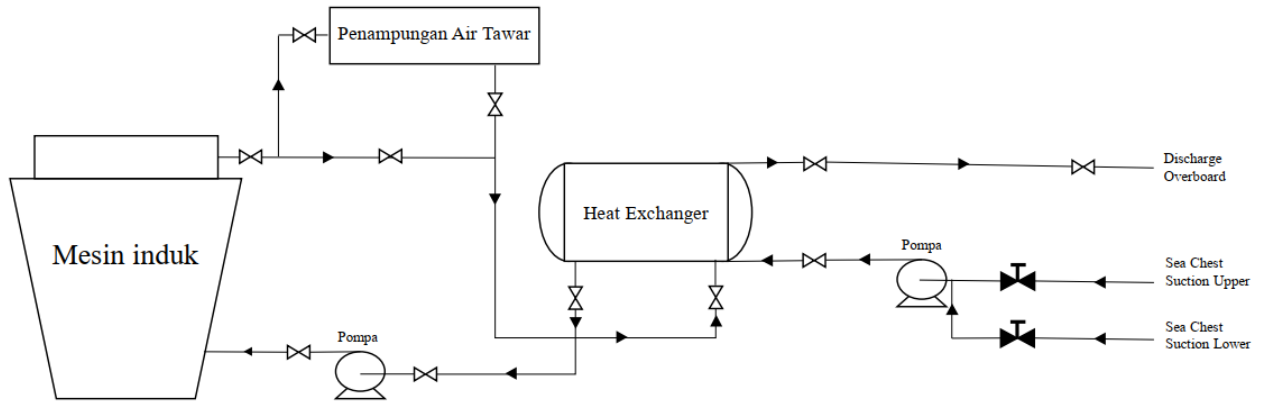
Persamaan 4 menunjukkan beberapa aspek yang harus diketahui. Namun pada kondisi lapangan sangat sulit menentukan beberapa aspek yang diinginkan dengan persamaan tersebut dikarenakan saat beroperasi geometri tabung tidak akan terlihat. Oleh karena itu untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas HE menggunakan persamaan 5. Dimana nilai  $U$  merupakan koefisien perpindahan panas HE ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). Hasil dari perhitungan nantinya dianalisa secara kuantitatif dan melihat tren dari grafik yang dihasilkan dari perhitungan dari pengukuran suhu yang didapatkan. Analisa nantinya akan mendapatkan rekomendasi dari unjuk kerja HE pada pengopersain mesin induk pada KM Sumber Mutiara agar dapat termonitoring dengan baik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



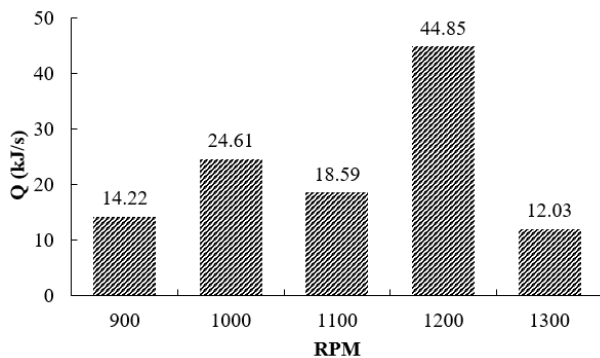
Gambar 4. Hasil pengukuran suhu pada HE mesin induk

Hasil pengukuran suhu pada alat penukar panas atau *heat exchanger* (HE) pada KM Sumber Mutiara ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengukuran berada pada titik-titik yang sudah ditentukan antara lain pada selang air laut keluar dan masuk HE serta pada selang air tawar keluar dan masuk HE mesin induk KM Sumber Mutiara. Skema aliran fluida pada HE mesin induk KM Sumber Mutiara dapat ditunjukkan pada Gambar 5. Skema yang ditunjukkan merupakan skema yang dilihat dari keadaan nyata hasil observasi. Hasil dari Gambar 4. menunjukkan suhu air tawar masuk dan suhu air keluar dari RPM 900 ke RPM 1000 memiliki penurunan. Hal tersebut dikarenakan keadaan mesin pada RPM 900 masih dalam keadaan pembebanan yang berat pada mesin untuk melaju sehingga panas yang di timbulkan oleh mesin sangat tinggi. Setelah RPM 1000 suhu air tawar masuk dan keluar (suhu air pendingin mesin) memiliki tren suhu yang naik seiring bertambahnya RPM (Wardani et al., 2018). Sedangkan untuk suhu air laut masuk dan keluar sangat tergantung dari proses kesempurnaan dan performansi pada HE. Pengukuran empat suhu fluida yang bekerja pada HE berfungsi untuk dianalisa selanjutnya ke

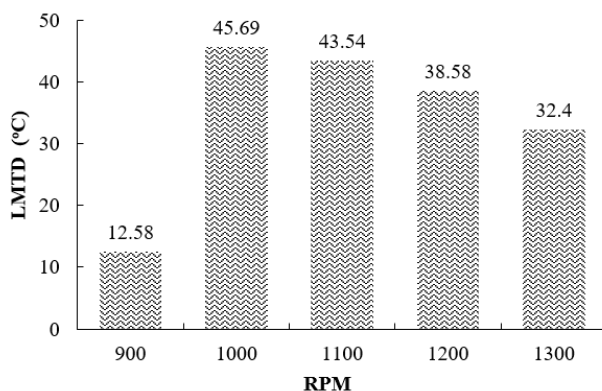


Gambar 5. Diagram alir proses aliran fluida pada HE

beberapa persamaan sehingga akan didapatkan nilai perpindahan panas pada HE.



Gambar 6. Panas yang diserap (Q) pada HE mesin induk



Gambar 7. Log Mean Temperature Difference (LMTD) pada HE mesin induk

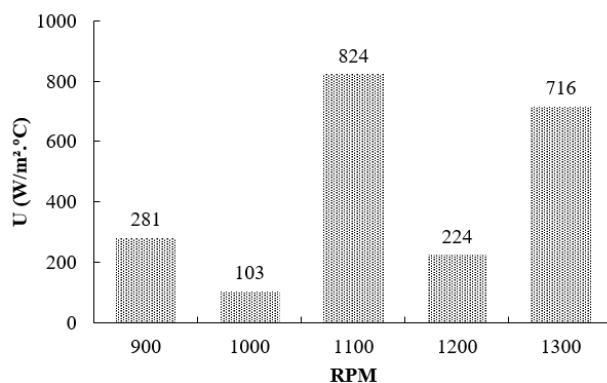
Hasil pengukuran suhu dan debit pada air laut yang masuk dan keluar pada HE digunakan untuk menghitung nilai panas yang diserap oleh HE. Debit air laut yang diukur didapatkan nilai 0.048 kg/s. Hasil perhitungan panas yang diserap sesuai persamaan 2 dengan variasi RPM pada mesin induk dapat ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai panas yang

diserap pada RPM 900, 1000, 1100, 1200, dan 1300 secara berturut turut memiliki nilai sebesar 14,22 kJ/s, 24,61 kJ/s, 18,59 kJ/s, 44,85 kJ/s dan 12,03 kJ/s. Nilai tertinggi panas yang diserap berada pada RPM 1200. Hal tersebut menandakan pada RPM 1200 mesin induk bekerja lebih berat atau bekerja lebih maksimal. Kinerja mesin yang dimaksimalkan mengakibatkan panas yang diserap oleh air laut yang mendinginkan air tawar sebagai pendingin mesin secara langsung. Fenomena ini membuat perbedaan suhu pada air laut semakin tinggi. Hal tersebut mengakibatkan panas yang diserap akan semakin tinggi oleh HE (Juliartha et al., 2016). Hasil panas yang diserap air laut menunjukkan tren yang dihasilkan dengan kenaikan RPM berubah-ubah. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan yaitu kenaikan panas yang diserap HE seiring dengan kenaikan kecepatan putaran motor RPM (Nizam & Syahrizal, 2018; Zainuddin et al., 2016). Perbedaan hasil yang didapatkan perlu dijustifikasi dan analisa berdasarkan perhitungan performansi pada HE.

*Log Mean Temperature Difference (LMTD)* merupakan salah satu parameter yang perlu di perhatikan untuk mengetahui performansi dari HE. Hasil perhitungan dari persamaan 3 LMTD maka didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai LMTD pada HE mesin induk KM Sumber Mutiara RPM 900, 1000, 1100, 1200, dan 1300 secara berturut turut yaitu 12,58°C ; 45,69 °C; 43,54 °C; 38,58 °C; dan 32,4 °C. Nilai terendah dari LMTD berada pada RPM 900. Fenomena ini dikarenakan mesin induk berada di keadaan stasioner sehingga nilai dari perbedaan suhu dari air tawar dan air laut tidak signifikan. Nilai LMTD meningkat pada RPM 1000 dan seiring bertambahnya RPM nilai LMTD akan menurun. Hasil yang sama adanya penurunan nilai LMTD pada mesin induk seiring dengan bertambahnya RPM pada mesin induk (Djeli &

Saidah, 2016). Nilai LMTD yang didapatkan menunjukkan ketidakpastian tren yang di hasilkan. Nilai LMTD dapat digunakan untuk menjadi acuan pencarian nilai koefisien panas dari HE.

Koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada HE dipengaruhi oleh spesifikasinya. Nilai  $U$  pada HE mesin induk KM. Sumber Mutiara saat beroperasi memiliki nilai yang berbeda. Fenomena ini dikarenakan adanya beberapa faktor operasional. Salah satu yang sering terjadi saat HE beroperasi yaitu faktor fouling. Dimana pengotor dari air laut sebagai fluida yang mendinginkan fluida pendingin mesin membawa kotoran yang menyebabkan fouling pada silinder-silinder pada HE. Faktor pengotor ini dapat ditentukan dengan hasil eksperimental yang telah dilakukan (Mara & Hidayatulloh, 2016). Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada HE mesin Induk KM Sumber Mutiara berdasarkan persamaan 5 dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada HE mesin induk

Persebaran nilai  $U$  pada HE yang dianalisa memiliki nilai yang bervariasi terhadap RPM. Nilai  $U$  pada RPM 900, 1000, 1100, 1200, dan 1300 secara berturut-turut yaitu 281 W/m<sup>2</sup>·°C, 103 W/m<sup>2</sup>·°C, 824 W/m<sup>2</sup>·°C, 224 W/m<sup>2</sup>·°C, dan 716 W/m<sup>2</sup>·°C. nilai tertinggi berada pada RPM 1100. Hal ini diidentifikasi adanya penambahan luas penampang pada geometri tabung HE pada saat pengambilan data di RPM 1100. Fenomena ketidakpastian luas penampang HE menunjukkan adanya korelasi panas yang di serap dengan nilai koefisien perpindahan panas pada HE. Hasil studi sebelumnya menunjukkan korelasi nilai panas yang diserap dengan koefisien perpindahan panas dipengaruhi adanya faktor fouling yang dialami HE saat beroperasi (Bizzy & Setiadi, 2013). Kejadian ini menjadikan bahwa HE sebagai mesin induk KM Sumber Mutiara perlu diadakan perawatan preventif yang detail sehingga kinerja dari HE akan lebih efektif dan efisien. Jenis perawatan yang

direkomendasikan yaitu pembersihan fouling/kotoran pada silinder dalam HE. Selain itu perawatan yang dilakukan harus sesuai dengan prosedur atau *manual book* yang tersedia. Hal ini juga menjadi poin penting dalam melaksanakan perawatan karena beberapa teknisi yang ada masih belum mematuhi (Wibowo et al., 2021). Faktor fouling di sebabkan oleh kerak yang sudah menempel dan akan bertambah dengan seiring penggunaannya. Beberapa penelitian menyarankan untuk adanya penyaringan yang lebih detail dengan alat saring saat fluida pendingin masuk ke dalam HE (Rahayu et al., 2021). Hal tersebut dapat meningkatkan kinerja dari HE saat beroperasi sebagai komponen pendingin Mesin Induk.

#### IV. PENUTUP

##### Kesimpulan

Berdasarkan analisa pembahasan data yang sudah di paparkan diatas maka kesimpulan yang didapatkan yaitu nilai panas yang diserap oleh *Heat Exchanger* (HE) ( $Q$ ) tertinggi yaitu pada RPM 1200 sebesar 44,85 kJ/s, untuk nilai LMTD pada RPM 1000 sebesar 45,69 °C dan untuk nilai  $U$  pada RPM 1100 sebesar 824 W/m<sup>2</sup>·°C. HE mesin induk KM Sumber Mutiara belum maksimal dalam kinerjanya dikarenakan adanya faktor fouling/pengotor dari air laut. Fenomena tersebut diperlukan adanya perawatan rutin pada HE sehingga perpindahan panas yang terjadi dapat berjalan dengan efektif serta penambahan komponen berupa saringan guna menyaring komponen padat yang di bawa air laut.

##### Saran

Berdasarkan penelitian dan kesimpulan yang sudah dilakukan maka perlunya perawatan preventif terjadwal pada *Heat Exchanger* Mesin Induk KM Sumber Mutiara. Selain itu, penggunaan filter dan bahan anti fouling pada penyaringan awal fluida pendingin yang masuk ke HE sehingga kinerja HE sebagai sistem pendingin akan lebih efektif dan efisien. Sistem monitoring HE yang berkala pada saat mesin induk beroperasi juga perlu digunakan agar dapat mengetahui HE perlu di bersihkan tabung-tabungnya.

##### Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih ke Nahkoda, Kepala Kamar Mesin, masinis serta crew kapal KM Sumber Mutiara Batam dalam pengambilan data. Selain itu peneliti berterima kasih kepada mekanik darat/ teknisi pada workshop/ bengkel di PT. Hasil Laut Sejahtera, Batam yang telah membantu dan memberikan izin mengukur dimensi komponen HE pada mesin induk.

**V. DAFTAR PUSTAKA**

- Bizzy, I., & Setiadi, R. (2013). Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc. ( Htri ). *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1), 67–76.
- Burmawi, Mulyanef, & Saputra, A. P. (2021). Analisa Unjuk Kerja Dari Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Menggunakan Air Sebagai Fluida Panas Dan Fluida Dingin. *Menara Ilmu*, 15(1), 1–8.
- Djeli, M. Y., & Saidah, A. (2016). Pengaruh Temperatur Pendingin Mesin terhadap Kinerja Mesin Induk di KM TRIAKSA. *Seminar Nasional TEKNOKA*, 194–198.
- Hakim, A. R., Wibowo, W., & Astriawati, N. (2020). Sistem Pendingin Mesin Diesel Pada Whell Loader Komatsu WA120-3CS. *Jurnal Teknovasi*, 07, 76–85.
- Juliartha, I., Mirmanto, & Okariawan. (2016). Pengaruh Massflow Dan Suhu Air Panas Pada Heat Exchanger Pipa-Pipa Parallel Terhadap Laju Perpindahan Panas Di Dalam Ruangan Pemanas. *Eksergi*, 3(4), 56–72.
- Leonard, J. (2012). Analisis Laju Korosi Material Penukar Panas Mesin Kapal Dalam Lingkungan Air Laut Sintetik Dan Air Tawar. *Hasil Penelitian Fakultas Teknik*, 6, TM5 1-6.
- Mara, I. M., & Hidayatulloh, M. Z. (2016). Analisa perpindahan panas alat penukar kalor tipe shell and tube pada ball mill di PT . Amman Mineral Nusa Tenggara. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2).
- Niresh, J., Kavinprakashh, D., & Kanth, R. R. (2019). A Review On Different Capacity Of Heat Exchanger In Marine Engines. *Suraj Punj Journal For Multidisciplinary Research*, 9(4), 215–218.
- Nizam, M. J., & Syahrizal, S. (2018). Modifikasi Sistem Pendingin Mesin Diesel Merk Dongfeng Menggunakan Heat Exchanger Untuk Kapal Motor Nelayan. *Inovtek Polbeng*, 8(1), 80.
- Nusantara, G. Y. (2015). Pengaruh Efek Perawatan Terhadap Jadwal Perawatan Sistem Pendukung Mesin Induk Pada Kapal Dengan Menggunakan Pemodelan Dinamik Sistem. In *Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Pamikiran, R. Dc. (2013). Penggunaan Daya Mesin Penggerak Kapal Pukat Cincin Km. Maestro. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Tropis*, 9(2), 50.
- Pongkessu, P., Pesulima, Y., Nari, H. P., & Sirman, A. M. (2018). Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Air Pendingin Terhadap Kinerja Fresh Water Cooler Pada Mesin Induk Di Kapal MV. Kalla Lines XV. *Jurnal VENUS*, 6(12), 94–109.
- Prasetyo, C. H., Zayadi, A., Basori, B., & Asmawi, A. (2019). Studi Perbandingan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Tembaga-Aluminium Untuk Pitch Segiempat. *Jurnal Ilmiah Giga*, 17(2), 79.
- Pratama, A. A., Astriawati, N., Waluyo, P. S., & Wahyudiyana, R. (2022). Optimalisasi Perawatan Sistem Pendingin Mesin Utama Di Kapal MV. Nusantara Pelangi 101. *Majalah Ilmiah Bahari Jogja*, 20(1), 1–11.
- Rahayu, I. E., Izzah, S. N., & Hidayat, M. R. (2021). Analisis Kinerja Heat Exchanger Pada Preheater CDU V di Kilang RU V Balikpapan. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 1(1), 1–9.
- Saputra, R. S. H., Priharanto, Y. E., & Abrori, M. Z. L. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Applied for Risk Assessment of Fuel Oil System on Diesel Engine of Fishing Vessel. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(21), 8414–8420.
- Suyatno, Riupassa, H., & Bayani, A. J. (2017). Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Tipe T147D Menggunakan Sirip Duri Bentuk Kerucut. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 63–75.
- Syah, H. (2013). Kajian Kinerja Penukar Panas Tipe Shell and Tube Satu Haluan dengan Pengontrolan Suhu Outlet. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(4), 158.
- Syaichurrozi, I., Metta Karina, A., & Imanuddin, A. (2014). Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance: The Effects of Mass Flow Rate, Inlet Temperature and Type of Flow Againsts The Overall Heat Transfer Coefficient. *Eksergi*, 11(2), 11.
- Tambunan, K., Fanani, Z., & Prihajatno, M. (2019). Analisis Laju Perpindahan Panas Sistem Pendingin Air Tawar pada Engine Generator Listrik. *Jurnal Airaha*, 2.
- Utomo, B. (2020). Hubungan Antara Konsumsi Bahan Bakar dengan Berbagai Perubahan Kecepatan pada Motor Diesel Penggerak Kapal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 163.
- Walikrom, R., Muin, A., & Hermanto. (2018). Studi Kinerja Plate Heat Exchanger Pada Sistem Pendingin PLTGU. *Turbulen: Jurnal Teknik Mesin Tridinanti Palembang*, 1(1), 40–47.
- Wardani, A. D., Noorsetyo, A., & Nurhadi. (2018). Korelasi putaran mesin terhadap temperatur air pendingin pada mesin merk mitsubishi tipe L 300 diesel. *RIDTEM (Riset Diploma Teknik Mesin)*, 1(2), 53–59.

- Wibowo, W., Astriawati, N., & Jamaluddin. (2021). Optimalisasi perawatan sistem pendingin tertutup pada mesin diesel tipe MAK 8M32 Pada KM LIT ENTERPRISE. *Jurnal Polimesin*, 19(1), 28–34.
- Wicaksono, C., Wijanarko, E., Simanullang, O. H., & Tahad, A. (2018). Perancangan Eco Heat Exchanger Type 1-2 Shell And Tube dan Pengaruh Jumlah Baffle Terhadap Transfer Panas. *Jurnal Chemurgy*, 1(1), 27.
- Zainuddin, Nurdin, J., & Is, E. (2016). The Heat Exchanger Performance of Shell and Multi Tube Helical Coil as a Heater through the Utilization of a Diesel Machine's Exhaust Gas. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(1), 21–29.
- Ziliwu, B. W., Musa, I., Priharanto, Y. E., & Tono. (2021). *Pengoperasian Dan Perawatan Sistem Pendingin Pada Mesin Induk Kapal KM. Sido Mulyo Santoso Di PPN Sibolga*. 2(April), 93–100.