

## ANALISIS KINERJA HEAT EXCHANGER MESIN INDUK KM. MADIDIHANG 03: KOLABORASI PT AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA DAN POLITEKNIK AUP PADA DEEP SEA SURVEY

Oleh

Ade Hermawan<sup>1</sup>, Mustofa Kamal<sup>2</sup>, M. Alfian Anshori<sup>3</sup>, Sakti P. Nababan<sup>4</sup>, Marsono<sup>5</sup>,  
Eddy Mustono<sup>6</sup>, Raedy Anwar Subiantoro<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Politeknik Ahli Usaha Perikanan

E-mail: <sup>1</sup>[adeh2909@gmail.com](mailto:adeh2909@gmail.com)

### **Article History:**

Received: 08-10-2024

Revised: 15-10-2024

Accepted: 11-11-2024

### **Keywords:**

Heat Exchanger, Efektivitas,  
Log Mean Temperature  
Difference, Fouling,  
Perawatan Preventif

**Abstract:** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja heat exchanger (HE) pada mesin induk KM Madidihang 03 dengan menggunakan parameter suhu inlet dan outlet dari fluida pendingin. HE tipe plate and frame digunakan untuk menjaga suhu mesin tetap optimal selama operasional kapal. Pengukuran dilakukan pada perjalanan Jakarta-Benete dan sebaliknya, mencakup parameter Log Mean Temperature Difference (LMTD), laju perpindahan panas, dan koefisien perpindahan panas. Hasil menunjukkan efektivitas HE mencapai 74,3% dengan LMTD 15,66°C pada perjalanan Jakarta-Benete, sementara pada perjalanan pulang terjadi penurunan efektivitas menjadi 71,6% dengan LMTD 17,09°C akibat fouling. Penurunan ini menunjukkan perlunya perawatan preventif yang lebih optimal, termasuk pembersihan rutin dan penambahan komponen penyaring. Studi ini menegaskan pentingnya pemeliharaan HE untuk memastikan efisiensi operasional mesin kapal.

## PENDAHULUAN

Heat exchanger merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pendinginan mesin utama (main engine) pada kapal. Fungsinya adalah untuk mengalirkan panas dari fluida pendingin yang bekerja pada mesin, kemudian mentransfer panas tersebut ke fluida pendingin eksternal, seperti air laut, yang mengalir melalui sistem. Proses ini bertujuan menjaga suhu mesin agar tetap optimal selama operasi. Tanpa sistem pendingin yang efisien, mesin utama dapat mengalami overheating, yang berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada komponen internal mesin dan mengganggu keseluruhan operasional kapal.

KM. Madidihang 03, yang merupakan sebuah kapal latihan dan riset, mengandalkan mesin utama untuk menjalankan operasional harian di laut. Performa mesin sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem pendingin, terutama heat exchanger. Namun, dengan berjalannya waktu dan operasional yang terus menerus, performa heat exchanger dapat menurun akibat berbagai faktor seperti penumpukan kerak, korosi, dan penurunan efisiensi aliran fluida pendingin. Oleh karena itu, evaluasi kinerja heat exchanger menjadi hal yang

krusial untuk memastikan bahwa sistem pendingin bekerja secara optimal dan mesin utama tetap berfungsi dengan baik dalam jangka waktu yang lama.

Salah satu cara untuk mengukur kinerja heat exchanger adalah dengan melakukan pengukuran temperatur pada bagian inlet dan outlet. Perbedaan suhu ini dapat memberikan gambaran seberapa baik heat exchanger dalam mentransfer panas dari fluida pendingin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja heat exchanger pada mesin utama KM. Madidihang 03 berdasarkan pengukuran temperatur. Dengan mengukur temperatur fluida pendingin pada bagian inlet dan outlet, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif heat exchanger dalam mentransfer panas dan menjaga suhu mesin pada level yang aman dan optimal. Penelitian ini dilakukan dengan lingkup pengukuran yang berfokus pada parameter temperatur, dengan pengujian dilakukan pada heat exchanger di KM. Madidihang 03, di mana temperatur fluida pendingin diukur pada titik masuk (inlet) dan keluar (outlet) heat exchanger selama mesin beroperasi dalam kondisi normal.

## LANDASAN TEORI

*Heat exchanger* (HE) adalah komponen kritis dalam sistem pendingin mesin induk kapal, berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda suhu. Pada kapal, HE digunakan untuk mendinginkan mesin induk dan menjaga operasional mesin dalam kondisi optimal. Sistem pendingin tertutup yang umum digunakan pada mesin induk kapal melibatkan HE untuk menyerap panas dari air pendingin dan mengalirkannya ke fluida lain, seperti air laut, untuk didinginkan kembali.

Dalam konteks kapal KM Madidihang 03, HE tipe plate and frame digunakan karena efisiensi dan kemampuan transfer panas yang tinggi. Tipe ini memungkinkan fluida panas dan dingin mengalir melalui saluran yang berbeda dan bertukar panas melalui plat yang dirancang khusus. Menurut Smith dan Hashemi (2018), HE tipe plate and frame sangat efektif dalam aplikasi kapal karena desainnya yang compact dan kemampuan transfer panas yang tinggi. Desain HE tipe plate and frame terdiri dari beberapa plat yang ditumpuk dan diikat bersama, membentuk saluran-saluran kecil untuk fluida panas dan dingin. Desain ini memungkinkan transfer panas yang efektif dan efisien. Selain itu, perawatan HE tipe plate and frame relatif mudah dibandingkan dengan tipe lain, karena plat-plat dapat dibuka dan dibersihkan secara terpisah.

Dalam prakteknya, HE juga harus dirancang untuk mengatasi masalah fouling yang dapat terjadi. Fouling dapat menyebabkan penurunan kinerja HE dan memerlukan perawatan yang lebih sering. Penelitian oleh Green dan Perry (2021) menekankan pentingnya perawatan rutin untuk mencegah fouling dan mempertahankan efisiensi HE. Dalam sistem kapal, HE tidak hanya berfungsi sebagai komponen pendingin mesin induk, tetapi juga sebagai bagian integral dari sistem keseluruhan. Menurut Johnson dan Li (2019), desain HE yang tepat dapat meningkatkan efisiensi transfer panas dan mengurangi konsumsi energi. Pada kapal KM Madidihang 03, HE tipe plate and frame dipilih karena kemampuan transfer panas yang tinggi dan keandalan operasionalnya.

HE tipe plate and frame terdiri dari beberapa plat yang ditumpuk dan diikat bersama, membentuk saluran-saluran kecil untuk fluida panas dan dingin. Desain ini memungkinkan transfer panas yang efektif dan efisien. Selain itu, perawatan HE tipe plate and frame relatif

mudah dibandingkan dengan tipe lain, karena plat-plat dapat dibuka dan dibersihkan secara terpisah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Lubis (2022), shell and tube heat exchanger juga dibahas sebagai alternatif yang efektif untuk aplikasi kapal. Shell and tube heat exchanger terdiri dari sebuah shell silindris di bagian luar dan sejumlah tube di bagian dalam, di mana temperatur fluida di dalam tube berbeda dengan di luar tube (di dalam shell) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam tube dan di luar tube.

Temperatur merupakan parameter kunci dalam evaluasi performa HE. Pengukuran temperatur inlet dan outlet (HT in, HT out, LT in, LT out) memberikan gambaran tentang efisiensi transfer panas yang terjadi. Perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin, yang dikenal sebagai Log Mean Temperature Difference (LMTD), digunakan untuk menghitung efisiensi HE. Pengukuran temperatur ini juga membantu dalam mendeteksi potensi masalah, seperti penumpukan kerak atau kebocoran, yang dapat mempengaruhi performa HE. Dengan memantau temperatur secara rutin, dapat dilakukan perawatan preventif yang efektif untuk memastikan HE beroperasi secara optimal. Carter dan Thompson (2020) menekankan pentingnya pemantauan temperatur dalam menjaga kinerja HE dan mencegah kerusakan. Pengukuran temperatur dalam evaluasi HE sangat kritis karena langsung mempengaruhi efisiensi transfer panas. Carter dan Thompson (2020) menjelaskan bahwa perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin dapat menunjukkan apakah HE beroperasi secara optimal atau tidak. Jika perbedaan suhu ini tidak sesuai dengan standar, maka bisa jadi ada masalah seperti penumpukan kerak, kebocoran, atau kerusakan pada plat-plat HE.

Pengukuran temperatur juga membantu dalam melakukan perawatan prediktif. Dengan memantau temperatur secara rutin, operator kapal dapat mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi parah. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan sensor temperatur yang terpasang pada inlet dan outlet HE. Data temperatur ini kemudian dapat dianalisis untuk menentukan apakah HE memerlukan perawatan atau tidak. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Lubis (2022), perhitungan LMTD dan koefisien perpindahan panas digunakan untuk menentukan efisiensi transfer panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LMTD yang dihitung secara manual dan menggunakan software memiliki perbedaan yang relatif kecil, menunjukkan keakuratan metode perhitungan yang digunakan.

Studi kasus pada HE tipe plate menunjukkan bahwa pengukuran temperatur secara akurat sangat penting untuk evaluasi performa. Misalnya, penelitian pada kapal LPD 120 meter menggunakan HE tipe plate and frame untuk memanfaatkan gas buang mesin sebagai sumber panas. Dalam penelitian ini, perhitungan temperatur masuk dan keluar dari HE digunakan untuk menentukan efisiensi transfer panas dan kebutuhan kalor untuk memanaskan air sesuai dengan regulasi yang berlaku. Dalam penelitian lain pada kapal KM. Sido Mulyo Santoso, modifikasi HE pada sistem pendingin mesin induk dilakukan untuk meningkatkan efisiensi. Metode yang digunakan melibatkan analisis baik secara perhitungan maupun hasil simulasi menggunakan Ansys Fluent 16.0. Hasil perhitungan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap hasil simulasi, dengan keefektifan HE pipa kosentris sebesar 25,88% pada kondisi tertentu, sedangkan hasil simulasi menunjukkan keefektifan sebesar 20,79%. Selain itu, penelitian oleh Walters dan Davidson (2022) menunjukkan bahwa pemantauan temperatur dan analisis perpindahan panas dapat meningkatkan umur layanan dan efisiensi operasional HE. Dengan memantau temperatur secara rutin, operator kapal dapat mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi parah dan

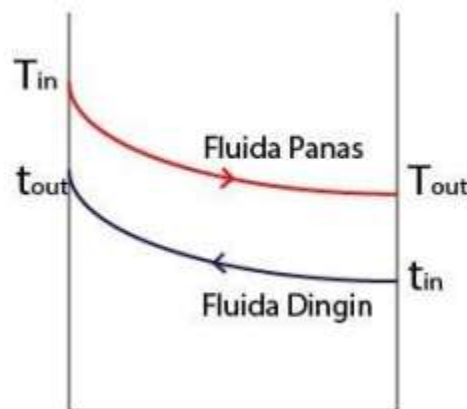
melakukan perawatan prediktif yang efektif.

### METODE PENELITIAN

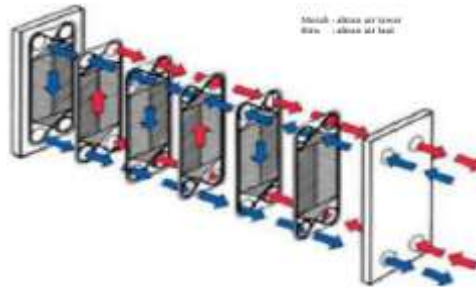
Analisis kinerja Heat Exchanger (HE) Mesin Induk KM Madidihang 03 dilakukan dalam konteks menganalisis kinerja Heat Exchanger selama perjalanan pergi dari Jakarta ke Benete dan pulang dari Benete ke Jakarta, dengan asumsi bahwa kondisi ini merepresentasikan beban maksimal, jenis HE yang digunakan yaitu *plate and frame* dengan merk pabrikan ALFA LAVAL dengan tipe M10-BFG dengan 185 plat yang digunakan. yang dapat ditunjukkan pada Gambar 1. HE yang digunakan terindikasi menggunakan *Counter-Current Flow* dalam konfigurasi ini, fluida panas dan fluida dingin mengalir melalui saluran yang berbeda dan berlawanan arah, yang memungkinkan efisiensi transfer panas yang tinggi, memiliki grafik diagram seperti pada gambar 2 dan skema gambar aliran fluida dan temperatur seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. HE pada Main Engine KM. Madidihang 03



Gambar 2. Profil Temperatur Aliran Pertukaran Panas Counter- Current.



Gambar 3. Skema Kerja Plate Heat Exchanger dengan Aliran *Counter Current*

Pengukuran suhu dilakukan secara visual menggunakan termometer yang terdapat pada pipa masuk dan keluar air tawar dan air laut, pengambilan data suhu dilakukan setiap 4 jam sebanyak 20 kali pengambilan data suhu dari perjalanan Jakarta ke Benete maupun perjalanan Benete ke Jakarta.

Hasil pengukuran suhu masuk dan keluar pada HE, selanjutnya dilakukan analisa perpindahan panas. Analisa kinerja yang dilakukan menggunakan beberapa parameter peninjauan. 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 *Counter Current*. 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 1.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (1)$$

Dimana :

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

$T_{h,in}$  = suhu masuk air tawar

$T_{c,out}$  = suhu keluar air laut

$T_{h,out}$  = suhu keluar air tawar

$T_{c,in}$  = suhu masuk air laut

Untuk laju perpindahan panas fluida panas (air tawar ) dan fluida dingin (air laut) dapat dihitung menggunakan persamaan 2 dan 3 sedangkan untuk menentukan koefisien perpindahan panas menggunakan persamaan 4.

Untuk Fluida Panas (air tawar)

$$Q = m_h \times C_p^h \times (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2)$$

Untuk Fluida dingin (air laut)

$$Q = m_c \times C_p^c \times (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (3)$$

$$U = \frac{Q}{A \cdot LMTD} \quad (4)$$

$$A \cdot LMTD$$

Di mana  $Q$  merupakan laju perpindahan panas,  $m_h$  dan  $m_c$  adalah laju aliran massa fluida panas dan dingin, masing-masing,  $C_p^h$  dan  $C_p^c$  adalah panas spesifik fluida panas dan dingin pada tekanan konstan ( $4,179 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ),  $T_{h,in}$  dan  $T_{h,out}$  adalah suhu masuk dan keluar fluida panas sedangkan  $T_{c,in}$  dan  $T_{c,out}$  adalah suhu masuk dan keluar fluida dingin,  $A$  merupakan luas penampang HE ALFA LAVAL dengan tipe M10-BFG ( $0.262 \text{ m}^2$  per platnya),

Sedangkan laju aliran massa fluida panas (air tawar) dan fluida dingin (air laut) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$m_h = \rho_h \times Q_h \quad (5)$$

$$m_c = \rho_c \times Q_c \quad (6)$$

Dimana  $m_h$  laju aliran massa fluida panas (air tawar ) dan  $m_c$  laju aliran massa fluida dingin (air laut ),  $\rho_h$  merupakan masa jenis air tawar ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) dan  $\rho_c$  merupakan masa jenis air laut ( $1026 \text{ kg/m}^3$ ),  $Q_h$  merupakan laju aliran air tawar  $65 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan  $Q_c$  merupakan laju aliran air laut  $80 \text{ m}^3/\text{jam}$

Untuk perhitungan efektivitas Heat Exchanger dapat menggunakan persamaan

$$\epsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{max}} \quad (7)$$

$$\Delta T_{max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (8)$$

$$Q_{max} = m_h \times C_{min} \times \Delta T_{max} \quad (9)$$

Di mana  $Q$  adalah laju perpindahan panas aktual,  $Q_{max}$  adalah laju perpindahan panas maksimum, yang dapat dihitung menggunakan perkalian antara laju alir massa fluida panas dan kapasitas fluida panas dengan perbedaan suhu maksimum, perbedaan suhu maksimum adalah selisih antara suhu air tawar masuk dan air laut masuk,

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran suhu dan perhitungan sesuai dengan rumus rumus pada persamaan yang dilakukan didapatkan kinerja HE KM. Madidihang 03 pada perjalanan dari Jakarta ke Benete dan Benete ke Jakarta dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 .

| No | Suhu Air Laut Masuk ( $^\circ\text{C}$ ) | Suhu Air Laut Keluar ( $^\circ\text{C}$ ) | Suhu Air Tawar Masuk ( $^\circ\text{C}$ ) | Suhu Air Tawar Keluar ( $^\circ\text{C}$ ) | LMTD ( $^\circ\text{C}$ ) | Q (MW) | U ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ) | Efektivitas HE (%) |
|----|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|--------|-------------------------------------------|--------------------|
| 1  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 2  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 3  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 4  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 5  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 6  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 7  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 8  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 9  | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 10 | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 11 | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 12 | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |
| 13 | 30                                       | 58                                        | 78                                        | 42                                         | 15.66                     | 2.6941 | 3,552                                     | 74.3               |

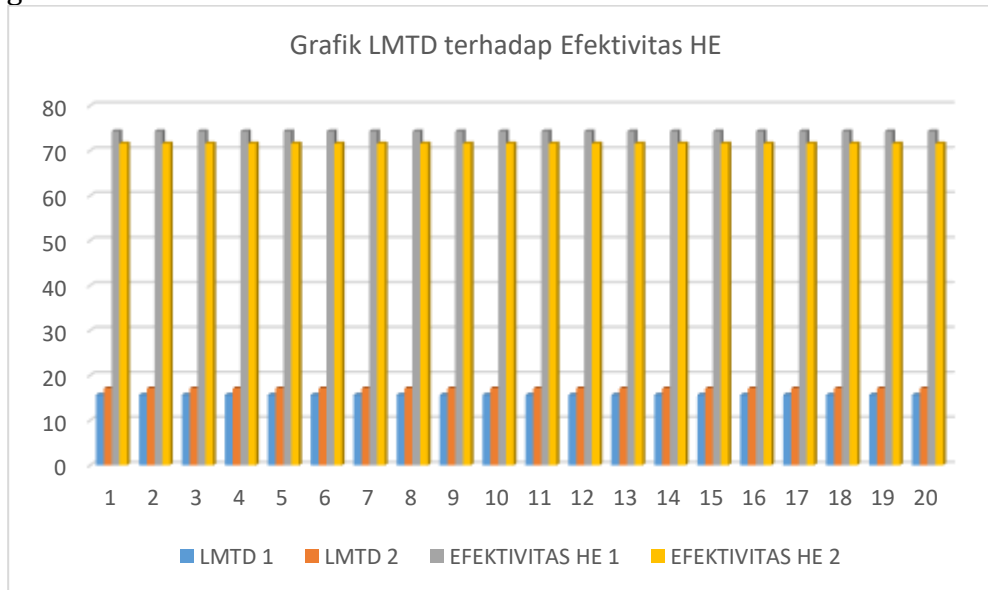
|    |    |    |    |    |       |        |       |      |
|----|----|----|----|----|-------|--------|-------|------|
| 14 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 15 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 16 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 17 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 18 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 19 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |
| 20 | 30 | 58 | 78 | 42 | 15.66 | 2.6941 | 3,552 | 74.3 |

Tabel 1. Data kinerja HE pada perjalanan Jakarta ke Benete

Dari tabel 1 data kinerja HE pada perjalanan Jakarta ke Benete dapat dilihat bahwa suhu air laut masuk stabil pada 30°C, sedangkan suhu keluar konsisten pada 58°C, memberikan perbedaan suhu sebesar 28°C, suhu air tawar masuk konsisten pada 78°C dan keluar pada 42°C dengan selisih perbedaan suhu ini mencerminkan bahwa HE berhasil menjaga kemampuan mentransfer panas dari fluida pendingin mesin ke air laut dan HE bekerja optimal dalam menurunkan suhu air tawar. Kinerja HE pada perjalanan pulang dari Benete ke Jakarta dapat dilihat pada tabel 2, pada perjalanan pulang dari Benete ke Jakarta suhu air laut masuk stabil pada 30°C, sedangkan suhu keluar konsisten pada 57°C, ada penurunan suhu 1°C pada saat perjalanan dari Jakarta ke Benete, suhu air tawar masuk konsisten pada 79°C dan keluar pada 43°C ada kenaikan 1°C dibandingkan dengan suhu pada saat perjalanan dari Jakarta ke Benete, ini menunjukkan ada penurunan kinerja dari HE

| No | Suhu Air Laut Masuk (°C) | Suhu Air Laut Keluar (°C) | Suhu Air Tawar Masuk (°C) | Suhu Air Tawar Keluar (°C) | LMTD (°C) | Q (MW) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | Efektivitas HE (%) |
|----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------|--------|--------------------------|--------------------|
| 1  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 2  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 3  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 4  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 5  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 6  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 7  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 8  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 9  | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 10 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 11 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 12 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 13 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 14 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 15 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 16 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 17 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 18 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 19 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |
| 20 | 30                       | 57                        | 79                        | 43                         | 17.09     | 2.6483 | 3,197                    | 71.6               |

Tabel 2. Data kinerja HE pada perjalanan Benete ke Jakarta ditandai dengan menurunnya suhu air laut keluar dan meningkatnya suhu air tawar masuk dan keluar ini menandakan kemampuan untuk mempertukarkan panas ke air laut berkurang.



Gambar 1. Grafik LMTD terhadap Efektivitas HE

Dari tabel 1 dan 2 serta gambar 1 dapat dilihat bahwa Nilai LMTD perjalanan dari Jakarta ke Benete stabil pada  $15.66^{\circ}\text{C}$  yang mencerminkan stabilnya performa HE yang mencapai efektifitas 74.3% sepanjang perjalanan, tetapi pada perjalanan pulang dari Benete ke Jakarta ada peningkatan  $1.43^{\circ}\text{C}$  untuk LMTD nya dari  $15.66^{\circ}\text{C}$  menjadi  $17.09^{\circ}\text{C}$  dengan peningkatan LMTD dapat menunjukkan perbedaan suhu yang lebih besar antara fluida panas dan dingin, nilai LMTD dapat digunakan untuk menjadi acuan pencarian nilai koefisien panas dari HE, naiknya nilai LMTD berbanding terbalik dengan efektivitas HE yang menurun pada perjalanan dari Benete ke Jakarta dari 74.3% menjadi 71.6%, demikian pula dengan laju perpindahan panas dan Koefisien Perpindahan Panas, untuk laju perpindahan ada penurunan dari 2.6941mW menjadi 2.6483 mW.



Gambar 2. Proses pembersihan plat – plat Heat exchanger KM. Madidihang 03

Koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada HE dipengaruhi oleh spesifikasinya. Nilai  $U$  pada HE mesin induk KM.Madidihang 03 saat perjalanan pergi dan pulang memiliki nilai yang berbeda salah satu penyebabnya yaitu naiknya LMTD, naiknya LMTD 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 flat – flat 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 Madidihang 03 pada tabel 1 dan 2 ada penurunan nilai koefisien perpindahan panas ( $U$ ) dari  $3,552 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  menjadi  $3,197 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . 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 Mesin Induk KM Madidihang 03 perlu diadakan perawatan preventif yang detail sehingga kinerja dari HE akan lebih efektif dan efisien. Jenis perawatan yang direkomendasikan yaitu pembersihan fouling/ kotoran pada flat - flat 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). KM. Madidihang 03 senantiasa melakukan perawatan HE dengan melakukan pembersihan pada plat – plat, seperti terlihat pada gambar 2, tetapi karena jam operasi dari HE ini walaupun sudah dibersihkan pada saat akan berangkat tetapi kotoran yang menempel pada plat HE pada saat perjalanan pulang dari Benete ke Jakarta sudah banyak ini ditandai dengan menurunnya efektivitas dari 74,3% menjadi 71,6%. Faktor fouling di sebabkan oleh kerak yang sudah menempel dan akan bertambah dengan jam kerja 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.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pembahasan data yang sudah di paparkan diatas maka kesimpulan yang didapatkan yaitu pada perjalanan Jakarta ke Benete suhu air laut masuk pada  $30^\circ\text{C}$ , suhu air laut keluar pada  $58^\circ\text{C}$ , suhu air tawar masuk pada  $78^\circ\text{C}$ , suhu air tawar keluar pada  $42^\circ\text{C}$ , nilai LMTD pada  $15.66^\circ\text{C}$ , laju perpindahan panas pada  $2.6941 \text{ mW}$ , nilai koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada  $3,552 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  dan efektivitas HE 74.3%. Perjalanan pulang dari Benete ke Jakarta suhu air laut pada  $30^\circ\text{C}$ , suhu air laut keluar pada  $57^\circ\text{C}$ , suhu air tawar masuk pada  $79^\circ\text{C}$ , suhu air tawar keluar pada  $43^\circ\text{C}$ , nilai LMTD pada  $17.09^\circ\text{C}$ , laju perpindahan panas pada  $2.6483 \text{ mW}$ , nilai koefisien perpindahan panas ( $U$ ) pada  $3,197 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  dan efektivitas HE 71.6%. Faktor fouling/pengotor dari air laut merupakan salah satu penyebab kinerja HE menurun. Untuk mencegah terjadinya hal 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.

### Pengakuan/Acknowledgements

Peneliti mengucapkan terima kasih ke Nahkoda, Kepala Kamar Mesin, masinis serta crew kapal KM Madidihang 03 dalam pengambilan data. Selain itu peneliti berterima kasih kepada PT. Amman Mineral Nusa Tenggara yang telah memfasilitasi kegiatan Deep Sea Survey laut Sumbawa Barat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, J. D., & Hashemi, R. (2018). "Review on heat exchangers with focus on naval applications." *Journal of Marine Engineering & Technology*, 17(1), 45-56.
- [2] Lubis, L. S. (2022). *DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DENGAN PENGGUNAAN WASTE HEAT RECOVERY UNTUK MEMPERTAHANKAN HYGIENE SISTEM DOMESTIK KAPAL 65 GT*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Aurelia Journal. (2021). *MODIFIKASI HEAT EXCHANGER PADA SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK KT BIMA 306 DI PT PELINDO MARINE SERVICE*. Academia.edu.
- [4] Green, S. A., & Perry, H. (2021). "Challenges in maintaining marine heat exchangers: Impact of fouling and corrosion." *Marine Structures*, 72, 102785.
- [5] Walters, K., & Davidson, J. H. (2022). "Predictive maintenance for plate heat exchangers using temperature monitoring." *Journal of Process Mechanical Engineering*, 236(4), 755-764.
- [6] Johnson, A., & Li, X. (2019). "Efficiency of plate heat exchangers: A critical review." *Applied Thermal Engineering*, 150, 392-407.
- [7] Carter, L. B., & Thompson, M. (2020). "Thermal management in marine systems: The role of temperature in performance assessment." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 146, 118924.
- [8] Hardiarto, A. (2021). *Perencanaan Desain Calorifier dengan Heat Exchanger Tipe Plate and Frame Heat Exchanger pada Sistem Domestik Kapal LPD 120 Meter Sebagai Penunjang Operasional Pelayaran di Wilayah Sub-Tropis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [9] Rohmah, L. (n.d.). *Pentingnya Perawatan Heat Exchanger dalam Menunjang Kinerja Mesin Induk*. eprints.pipmakassar.ac.id.
- [10] Irukawa, T., & Hanifa, A. (2020). "Analisa Perpindahan Panas Heat Exchanger Mesin Induk." *jurnal.polindra.ac.id*.
- [11] Elisa, R. (2019). "Evaluasi Performa Heat Exchanger pada Kapal Penangkap Ikan." *Journal of Marine Science and Technology*, 18(3), 12-20.
- [12] Rahmad, A., & Fanny, S. (2000). "Studi Kasus Penggunaan Heat Exchanger Tipe Plate pada Kapal LPD." *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 10(2), 123-135.
- [13] Adel, M., et al. (2009). "Analisis Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Tipe Plate and Frame." *International Journal of Thermal Sciences*, 48(10), 2011-2018.
- [14] Irukawa, T. (1999). "Pengaruh Temperatur pada Performa Heat Exchanger." *Journal of Heat Transfer*, 121(3), 531-538.
- [15] Sitepu, A. H., et al. (n.d.). *Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD*. Journal of Marine Technology, Universitas Hasanuddin.
- [16] 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).

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN