

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR AIR PENDINGIN
TERHADAP KINERJA *FRESH WATER COOLER* PADA MESIN INDUK
DI KAPAL MV. KALLA LINES XV**

**Paulus Pongkessu, Yopie Pesulima, Henny Pasandang Nari, Adnan
Mahadir Sirman**

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Jalan Tentara Pelajar No. 173 Makassar, Kode pos. 90172
Telp. (0411) 3616975; Fax (0411) 3628732
E-mail: pipmks@pipmakassar.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengetahui pengaruh perubahan temperature terhadap penyerapan panas pada Fresh Water Cooler Mesin Induk di Kapal Tujuan Penelitian. (2) Menghitung laju perpindahan panas pada cooler. (3) Menghitung persentase penyerapan panas yang terjadi pada cooler. Metode yang dilakukan adalah (1) Mengambil data secara langsung terhadap obyek yang diamati. (2) Kajian literature terhadap teori-teori yang mendasari permasalahan yang ada serta penjelasan dari pembimbing. (3) Studi pustaka dilakukan dengan membaca dan mengutip literature yang relevan dan berkaitan dengan masalah yang akan dibahas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Semakin Tinggi temperature air tawar pendingin mesin masuk kedalam cooler maka semakin tinggi pula temperatur yang keluar dari cooler dan temperature air laut sebagai pendingin air tawar yang keluar dari cooler juga semakin tinggi karena dipengaruhi oleh temperature air tawar yang diserap oleh air laut. Disarankan Untuk mendapatkan temperature selalu dalam keadaan normal maka disarankan perawatan cooler dapat dilakukan secara berkala dengan cara membersihkan pipa-pipa kapiler.

Kata Kunci : *Fresh Water Cooler, Air tawar dan Air Laut.*

1. PENDAHULUAN

Mesin yang dipasang pada kapal dirancang untuk bekerja dengan efisien maksimal dan berjalan selama berjam-jam berjalan lamanya. Hilangnya energi paling sering dan maksimum dari mesin adalah dalam bentuk energi panas. Untuk menghilangkan energi panas yang berlebihan harus menggunakan media pendingin (*cooller*) untuk menghindari gangguan fungsi mesin atau kerusakan pada mesin. Untuk itu sistem air pendingin dipasang pada kapal. Sistem pendingin adalah salah satu bagian yang sangat penting pada sebuah mesin kapal yang menggunakan mesin diesel. Hal ini memerlukan perhatian khusus, karena kinerja mesin dipengaruhi oleh sistem pendinginan.

Proses pembakaran dalam dinding silinder akan meningkatkan panas dan temperatur mesin. Bila pendinginan tidak normal, maka viskositas minyak pelumas akan menurun atau berkurang, sehingga torak maupun silinder dapat mengalami kerusakan akibat suhu tinggi dari pembakaran.

Untuk menjaga agar sistem pendinginan tetap dalam keadaan normal maka dapat digunakan alat penukar kalor atau *Heat Exchanger*(HE) yang berfungsi untuk memindahkan panas dari satu sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin.

Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dipasang sekat (*buffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan memperlambat aliran fluida sehingga penyerahan panas lebih maksimal, namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas maka yang menjadi rumusan masalah adalah: Berapa laju perpindahan panas yang terjadi dalam cooler dan berapa persentase penyerapan panas yang terjadi pada cooler.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung laju perpindahan pada cooler dan menghitung persentase perpindahan panas pada cooler.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Fresh Water Cooler

Alat ini berfungsi mendinginkan air pendingin yang telah menyerap panas dari dalam mesin dengan menggunakan media air laut.

b. Sistem Pendingin Mesin Induk yaitu:

- 1) Sistem Pendingin Terbuka adalah air dari luar kapal yang dipompakan kedalam motor dan selanjutnya dibuang kembali keluar badan kapal
- 2) Sistem pendinginan tertutup adalah air tawar yang mendinginkan mesin selanjutnya air tawar membawahi panas didinginkan oleh air laut

c. Bahan Pendingin Mesin Induk

- 1) Air Laut berfungsi sebagai bahan pendingin memiliki beberapa sifat yang menguntungkan, seperti panas jenis besar pada kepekatan relatif tinggi. Ini berarti bahwa per satuan volume dapat ditampung panas yang besar, sehingga kapasitas pompa dan dayanya dapat dibatasi.

d. Cara-cara perpindahan panas

- 1) Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan dan bersinggungan secara langsung
- 2) Konveksi adalah proses transfer energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur

3. METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan selama 4 (empat) bulan (Juni sampai dengan September tahun 2017) di kapal MV. KALLA LINES XV

b. Metode Pengambilan Data

- 1) Metode lapangan (Field Research) yaitu penelitian yang dilakukan dengan cara mengadakan peninjauan langsung pada objek yang diteliti.
- 2) Tinjauan Kepustakaan (Library Research) yaitu penelitian yang dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari literature, buku-buku dan tulisan-tulisan yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

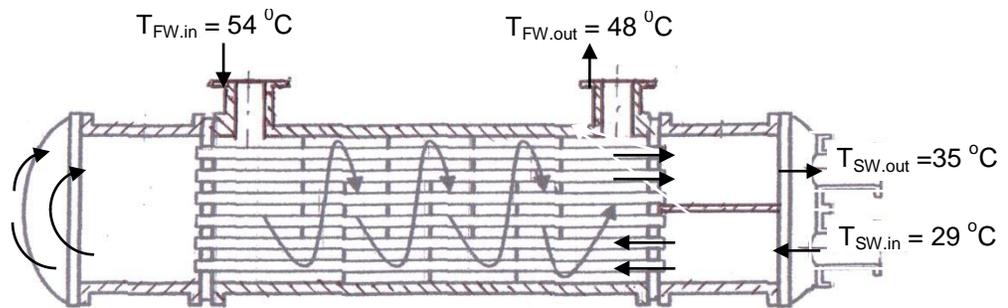
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

a. Data Operasional

- Temperatur air laut masuk cooler ($T_{SW.in}$) = 29 °C
- Temperatur air laut keluar cooler ($T_{SW.out}$) = 35 °C
- Temperatur air tawar masuk cooler ($T_{FW.in}$) = 54 °C
- Temperatur air tawar keluar cooler ($T_{FW.out}$) = 48 °C
- Debit air laut pendingin mesin (\dot{V}_{sw}) = 0,00429 m³/s
- Konduktivitas termal Shell (k_s) = 59 W/m.K
- Debit air tawar pendingin mesin = 0,00429 m³/s

b. Lay Out Heat Exchanger

Gambar 4.1. Memperlihatkan aliran air pendingin mesin dengan air pendingin cooler



Gbr.3.16 Lay Out Heat Exchanger

c. Hasil Penelitian

- 1) Perhitungan Perpindahan Panas pada Cooler (*Heat Exchanger*)
- 2) Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Paksa Untuk Sisi Air Pendingin cooler (h_{sw}) di dalam Tube.

$$h_{sw} = \frac{N_u \cdot k_{sw}}{D_{ti}}$$

- 3) Data Operasional Air pendingin cooler pada cooler (*heat exchanger*) adalah:

$$T_{sw.in} = 29^0 C$$

$$T_{sw.out} = 35^0 C$$

Maka temperatur borongan rata-rata air pendingin cooler ($T_{b.sw}$) adalah:

$$\begin{aligned} T_{b.sw} &= \frac{T_{sw.in} + T_{sw.out}}{2} \\ &= 32^0 C \end{aligned}$$

- Laju Aliran Massa (\dot{m}_{sw}) pada $T_{b.sw} = 32^0 C$

Untuk menghitung Laju aliran massa air pendingin *cooler* masuk ke *cooler heat exchanger* pada temperatur borongan rata-rata =32⁰C,

$$\begin{aligned}\dot{m}_{sw} &= \dot{V}_{sw} \times \rho \\ &= 4,268121 \text{ kg / s}\end{aligned}$$

- Luas penampang *tube* bagian dalam (A_{ti})

$$\begin{aligned}A_{ti} &= \frac{\pi(D_{ti})^2}{4} \\ &= 0,00314 \text{ m}^2 = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Kecepatan Aliran Air Pendingin *Cooler*

$$\begin{aligned}v_{sw} &= \frac{\dot{m}_{sw}}{A_{ti} \cdot \rho \cdot N} \\ &= 0,1366 \text{ m / s}\end{aligned}$$

- **Bilangan Reynolds**

$$\begin{aligned}Re &= \frac{v_{sw} \times D_{ti}}{\nu} \\ &= 3542,53\end{aligned}$$

- **Bilangan Nusselt**

$$\begin{aligned}N_u &= 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \rightarrow n = 0,4 \\ &= 30,8145\end{aligned}$$

- **Koefisien Perpindahan Panas**

$$\begin{aligned}h_{sw} &= \frac{N_u \times k_{sw}}{D_{ti}} \\ &= 916,73 \text{ W/m}^2\text{K}\end{aligned}$$

- **Kalor yang berpindah ke air pendingin cooler (Q_{sw})**

$$\begin{aligned}Q_{sw} &= \dot{m}_{sw} \times C_{p_{sw}} \times (T_{sw.out} - T_{sw.in}) \\ &= 107,2 \text{ kW}\end{aligned}$$

Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Paksa Fluida melalui permukaan Luar tube pada sisi Air Pendingin Mesin (h_{fw}):

$$\frac{h_{fw} \cdot D_{to}}{k_{sw}} = 1,13 \cdot c_o \cdot R_e^n \cdot P_r^{1/3}$$

(Ozisik, hal.387, 1985).....(9)

- **Data operasional Air Pendingin Mesin pada Cooler (heat exchanger):**

$$T_{fw.in} = 54^{\circ} C$$

$$T_{fw.out} = 48^{\circ} C$$

- **Maka temperatur borongan rata-rata air pendingin mesin ($T_{b.fw}$) adalah:**

$$T_{b.fw} = \frac{T_{fw.in} + T_{fw.out}}{2} = 51^{\circ} C$$

- **Debit Air Pendingin Mesin (\dot{V}_{fw})**

$$\dot{V}_{fw} = A_{ni} \cdot v_n$$

$$v_n = \frac{\dot{V}_{fw}}{A_{ni}}$$

dimana

A_{ni} = Luas penampang dalam pipa cooler.

$$A_{ni} = \frac{\pi (D_{ni})^2}{4} \quad D_{ni} = \text{Diameter Dalam Nozzel} = 0,0154 \text{ m}^2$$

Setelah nilaidiketahui A_{ni} maka v_n dapat dihitung dengan persamaan awal :

$$v_n = \frac{\dot{V}_{fw}}{A_{ni}} = \frac{0,00333}{0,0154} = 0,216 \text{ m/s}$$

- Luas aliran air pendingin mesin di dalam shell heat exchanger adalah:

$$A_s = \frac{D_{s_i} \cdot C \cdot B}{S_T}$$

$$= 0,156 \text{ m}^2$$

- Kecepatan Air Pendingin Mesin dalam Shell heat exchanger (V_s) dihitung dengan persamaan:

$$A_{ni} \cdot v_n = A_s \cdot v_s$$

$$v_s = \frac{A_{ni} \times v_n}{A_s} = \frac{0,00049 \times 2,27}{0,0128} = 0,0869 \text{ m/s}$$

- Kecepatan maksimum Air dalam shell (V_{max}):

$$V_{max} = v_s \times \frac{S_T}{2(D_{s_i} - D_{t_o})}$$

$$= 2,97 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

- Kecepatan massa maksimum Air Pendingin Mesin (G_{max})

$$G_{max} = \rho \times V_{max} = 997,6 \times 2,97 \times 10^{-3} = 2,963 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

- Bilangan Reynolds

$$\frac{S_T}{D_{t_o}} = \frac{0,04}{0,015} = 2,666 \quad \text{dan} \quad \frac{S_L}{D_{t_o}} = \frac{0,04}{0,015} = 2,666$$

Sehingga harga $C_o = 0,477$ dan $n = 0,559$

$$\frac{h_{fw} \cdot D}{k_a} = 1,13 C_o \cdot Re^n \cdot Pr^{1/3}$$

$$h_{fw} = \frac{1,13 \cdot C_o \cdot Re^n \cdot Pr^{1/3} \cdot k_a}{D_{s_o}}$$

$$= 5,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- a. Koefisien Perpindahan Panas Total Antara Air Pendingin Mesin dan Air Pendingin Cooler (U_{tot}) dapat dihitung dengan persamaan:

$$U_{tot} = N_{tube} \left[\frac{D_{to}}{D_{ti}} \cdot \frac{1}{h_{sw}} + \frac{D_{to}}{D_{ti}} \cdot F_i + \frac{D_{to}}{2k} \cdot \ln \frac{D_{to}}{D_{ti}} + F_o + \frac{1}{h_{fw}} \right]^{-1}$$

$$= 512,5 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Jumlah panas yang berpindah dari air pendinginmesinke air pendingin cooler adalah:

$$Q_{sw} = U_{tot} \cdot A_0 \cdot \Delta T_{in.corr}$$

$$A_0 = \pi \cdot D_{to} \cdot L_t$$

$$= 0,113 \text{ m}^2$$

- **Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)**

$$LMTD = \frac{(T_{fw.out} - T_{sw.out}) - (T_{fw.in} - T_{sw.in})}{\ln \left(\frac{T_{fw.out} - T_{sw.out}}{T_{fw.in} - T_{sw.in}} \right)}$$

$$= 18,35$$

- Berdasarkan nilai P dan R diperoleh nilai faktor koreksi (F_c)

$F_c = 0,8$ (Lampiran D.4), maka:

$$\Delta T_{in.corr} = F_c \cdot LMTD$$

$$= 14,68^\circ \text{C}$$

- Kalor air pendingin mesin yang berpindah ke air pendingin cooler melintasi dinding pipa (Q_{fw}) adalah:

$$Q_{fw} = U_{tot} \times A_0 \times \Delta T_{in.corr}$$

$$= 283,5 \text{ kW}$$

Untuk mengecek kebenaran perhitungan maka kalor yang diserap oleh air pendingin cooler (Q_{sw}) dihitung pula dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{sw} = \dot{m}_{sw} \times C_{p_{sw}} \times (T_{sw.out} - T_{sw.in})$$

$$= 107,2 \text{ kW}$$

b. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Udara di Luar Shell

Temperatur dinding heat exchanger (T_w):

$$T_w = \frac{T_{fw} + T_\infty}{2} = \frac{324 + 307}{2} = 315,5 \text{ K}$$

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2} = \frac{307 + 315,5}{2} = 311,25 \text{ K}$$

$$T_w = \frac{T_{fw} + T_\infty}{2} = \frac{51 + 34}{2} = 42,5^\circ \text{ C}$$

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2} = \frac{34 + 42,5}{2} = 38,25^\circ \text{ C}$$

- Bilangan Reynolds Udara:

$$Re = \frac{V_\infty \times D_{so}}{\nu} = \frac{1 \times 0,60}{1,6156 \times 10^{-5}} = 8665,51 \text{ (laminar)}$$

- Bilangan Nusselt Udara

$$Nu_\infty = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{1/2}\right]$$

$$= 67,357$$

- Koefisien Perpindahan Panas Udara (h_∞)

$$h_\infty = \frac{Nu_\infty \times k_\infty}{D_{so}} = \frac{67,357 \times 0,0266}{0,60} = 2,986 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

c. Kestimbangan Energi Pada Heat Exchanger

$$Q_{fw} = Q_{sw} + Q_{loss}$$

Dimana:

Q_{fw} = Panas yang dilepaskan oleh air pendingin mesin

Q_{sw} = Panas yang diserap oleh air pendingin cooler

Q_{loss} = Panas yang hilang ke udara sekeliling

- Panas yang dilepaskan air pendingin mesin pada Heat Exchanger
Panas yang dilepas oleh air pendingin mesin (Q_{fw}) dihitung dengan persamaan:

$$Q_{fw} = \dot{m}_{fw} \cdot C_{p_{fw}} (T_{fw.in} - T_{fw.out})$$

$$T_{fw.in} = 54^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fw.out} = 48^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{fw} &= \dot{V}_{fw} \cdot \rho \\ &= 0,00363 \times 997,6 \\ &= 3,62 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{fw} &= \dot{m}_{fw} \cdot C_{p_{fw}} (T_{fw.in} - T_{fw.out}) \\ &= 90,81 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Panas yang hilang melalui Shell Heat Exchanger (ke udara keliling)

$$Q_{loss} = h_{\infty} \cdot A_{s_o} \cdot (T_w - T_{\infty})$$

Luas penampang shell bagian dalam heat exchanger adalah:

$$\begin{aligned} A_{s_0} &= \pi \cdot D_{s_0} \cdot L_s \\ &= 4,52 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{loss} &= h_{\infty} \cdot A_{s_o} \cdot (T_w - T_{\infty}) \\ &= 114,72 \text{ kW} \end{aligned}$$

Efektifitas Heat Exchanger

Efektifitas heat exchanger dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{Q_{sw}}{Q_{maks}}$$

Dimana: $Q_{maks} = C_{min} (T_{fw.in} - T_{sw.in})$

Untuk air pendingin mesin :

$$\begin{aligned} C_{fw} &= \dot{m}_{fw} \cdot C_{p.fw} \\ &= 15,135 \text{ kW /}^{\circ} \text{ C} \end{aligned}$$

Untuk air pendingin cooler:

$$\begin{aligned} C_{sw} &= \dot{m}_{sw} \cdot C_{p.sw} \\ &= 17,865 \text{ kW /}^{\circ} \text{ C} \end{aligned}$$

Maka diperoleh C_{min} adalah C_{sw} sehingga:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= \frac{\dot{m}_{sw} \cdot c_{p.sw} (T_{sw.out} - T_{sw.in})}{c_{sw} (T_{fw.in} - T_{sw.in})} \\ &= 0,51 \\ &= 51 \% \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned} \varepsilon_h &= \frac{\dot{m}_{fw} \cdot c_{p.fw} (T_{fw.in} - T_{fw.out})}{c_{min} (T_{fw.in} - T_{sw.in})} \\ &= 0,78 \\ &= 78 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan dilakukan pada temperatur yang berbeda hasilnya dilihat pada lampiran B.

3) Pembahasan

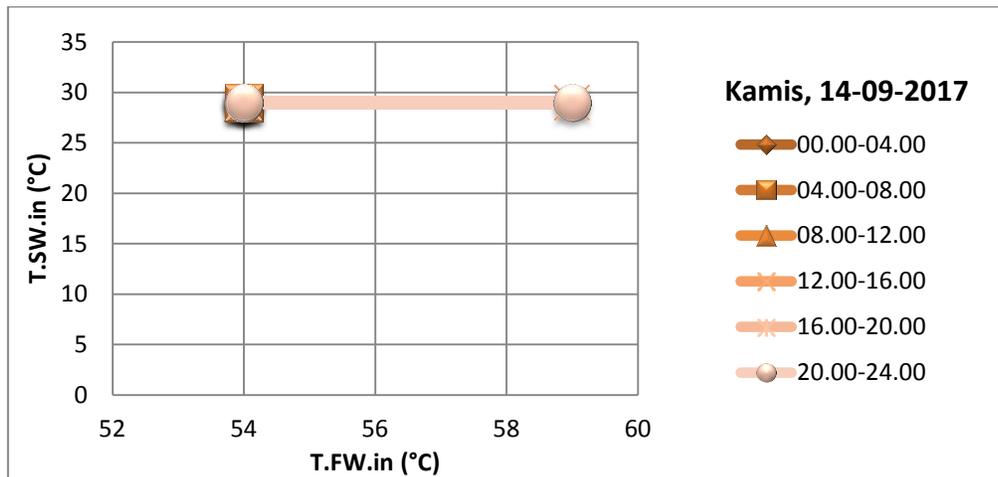
1. Hubungan Temperatur Air Pendingin Mesin Terhadap Temperatur Air Pendingin Cooler

Pada alat penukar kalor, panas yang dilepas oleh air pendingin mesin sebagian diserap oleh air pendingin cooler dan sebagian lagi berpindah ke udara sekeliling. Proses perpindahan panas dari air pendingin mesin ke permukaan dinding luar *tube* terjadi secara konveksi, selanjutnya panas berpindah dari dinding luar *tube* ke dinding dalam *tube*

secara konduksi, selanjutnya terjadi perpindahan panas konveksi dari permukaan dinding dalam *tube* ke air pendingin cooler. Bagian permukaan luar dinding *shell* dari *fresh water cooler* (*heat exchanger*) berhubungan langsung dengan udara luar. Pada permukaan luar dinding *shell* dari *fresh water cooler* (*heat exchanger*) ini, panas berpindah ke udara sekeliling secara konveksi.

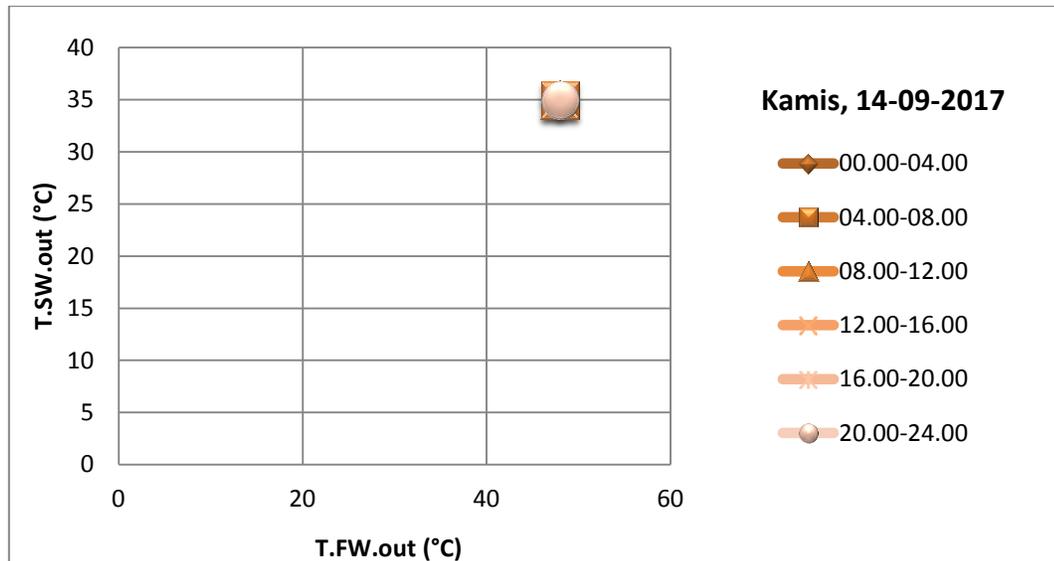
Pada setiap jam jaga dapat terjadi perubahan temperatur air pendingin mesin masuk cooler terhadap temperatur air pendingin cooler seperti ditunjukkan gambar grafik dibawah ini

Gambar 4.1. Hubungan air pendingin mesin ($T_{fw.in}$) yang masuk cooler terhadap Temperatur air pendingin cooler (T_{sw})



Pada gambar 4.1 seperti diatas menunjukkan bahwa temperature air pendingin mesin induk (T.Fw) yang masuk cooler adalah 54 ° C dan temperatur air pendingin cooler (T.Sw) yang masuk cooler adalah 29 °

Gambar 4.2. Hubungan air pendingin mesin keluar cooler ($T_{fw.out}$) terhadap Temperaturair pendingin cooler keluar ($T_{sw.out}$)



Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa temperature air pendingin yang keluar dari mesin turun menjadi 48°C karena sebagian diserap oleh air pendingin cooler dan sebaliknya air pendingin cooler naik menjadi 35°C karena adanya penyerapan panas dari air pendingin mesin.

Demikian seterusnya seterusnya gambar grafik pada pengoperasian cooler dari Biring Kassi ke Sorong tanggal 15 September 2017 sampai dengan tanggal 18 September 2017 sesuai dengan data-data sebelumnya pada Table 3.1. (Temperatur air tawar dan air laut pada pengoperasian Cooler Mesin Induk MV. Kalla Lines XV.

Laju perpindahan panas dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, luas penampang, luas permukaan perpindahan panas, konduktifitas termal material, serta jarak dan ketebalan titik perpindahan panas.

Panas dari air pendingin mesin tidak semuanya diserap oleh air pendingin cooler yang mengalir di dalam *tube*, namun sebagian dari panas tersebut diserap oleh udara sekeliling yang memiliki temperatur yang lebih rendah dari temperatur air pendingin mesin melalui dinding *shell* yang dianggap sebagai kehilangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Perubahan temperatur air laut pendingin cooler masuk rata-rata 29 °C dan keluar rata-rata 35 °C mengakibatkan penurunan temperatur air tawar pendingin mesin yang masuk cooler dari 54 °C sampai 59 °C dan keluar cooler menjadi 40 °C sampai 50 °C.
2. Koefisien penyerapan air tawar pendingin mesin yang berpindah ke air laut pendingin cooler melintasi dinding pipa (Q_{sw}) rata-rata 107,2 kW sedangkan kalor yang diserap oleh air pendingin cooler (Q_{fw}) rata-rata 283,5 kW
1. *Efektifitas*(ϵ) *fresh water cooler* pada temperatur air tawar pendingin mesin antara 54 °C sampai 59 °C dan air laut pendingin *cooler* rata-rata 29 °C yang keluar *cooler* adalah 51 % sampai 78 %.

B. Saran-saran

1. Untuk menjaga temperatur air tawar pendingin mesin dalam kondisi normal, maka selalu dilakukan pembersihan pipa-pipa kapiller pada *cooler*
2. Untuk optimalnya penyerapan panas pada *cooler*, maka perlu dijaga laju aliran air laut pendingin *cooler* dengan cara membersihkan saringan.
3. Dapat dikembangkan untuk penelitian tentang besarnya *efektifitas fresh water cooler* pada kapasitas yang besar

DAFTAR PUSTAKA

Crawford, M.E dan Kays, W.M, 1993. ***Convective Heat and Mass Transfer, Third Edition***, Mc. Graw Hill Internasional Edition.

Frank Kreith, 1986 “ ***Prinsip-prinsip Perpindahan Panas***”

Holman, J.P., 1993, “ ***Perpindahan Kalor***”, Penerbit Erlangga.

Adrian Bejan, 1993, “ ***Heat Transfer***”, By John Weley &, Sons Inc

Maanen, “ ***Marine Motor Diesel Kapal***”, Jilid I, PT. Triakso Madra, Jakarta.

MALEEV, 1986 “ ***Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel***”, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Raldi Artono Koestoer, Dr. Ir. “ ***Perpindahan Kalor*** “

Rames K. Shad dan Dusan P. Sekulic, 2003, ***Fundamentals of Heat Exchanger Design***, John Willey & sons

Sunaryo, “ ***Perawatan dan Perbaikan Motor Diesel Penggerak Kapal***”.