

BAB III ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Kejadian

Adapun tempat dan waktu dimana penulis mengalami kejadian yaitu:

1. Tempat kejadian

Kejadian yang menjadi dasar analisis dalam karya ilmiah ini terjadi pada saat penulis bertugas sebagai *Chief Engineer* di atas kapal MT. Zoey . Kapal ini merupakan kapal jenis tanker khususnya *bunker* barge yang beroperasi di perairan malaysia dan singapore, membawa serta mendistribusikan bahan bakar minyak ke kapal-kapal lain atau fasilitas lepas pantai.

Tabel 1 Ship Particular MT. ZOEY

Item	Specification
Name of Vessel	MT. ZOEY
Type	Oil Tanker
Port of Registry/Flag	Singapore
Class	RINA
Year Built	2024
Builder	Thaizhou Shipbuilding Co., Ltd
LOA (Length Overall)	75.72 m
Breadth (Moulded)	17.20 m
Depth (Moulded)	9.20 m
Summer Draft	6.70 m
Gross Tonnage (GT)	1.498 T
Deadweight (DWT)	2.522 T
Main Engine	ZICHAH LB6250 , 4 Stroke Diesel Engine
Output	1103 kW at 700 RPM
Service Speed	12.5 knots
Generator Engine	WEICHAH WP6CD152E200, 2 Units

<i>Generator Capacity</i>	152 kW × 2
---------------------------	------------

Sumber: MT. ZOEY

Tabel 2 Spesifikasi *Generator Engine*

Item	Spesifikasi
Model	WP6CD152E200
Tipe	Vertikal, pendingin air, 4-langkah, mesin diesel
Sistem Bahan Bakar	Direct injection
Jumlah Silinder	6 silinder
Diameter Silinder (Bore)	165 mm
Langkah Piston (Stroke)	232 mm
Volume Silinder Total	29.76 liter
Rasio Kompresi	14.1
Kecepatan Putaran (Rated RPM)	1.500 rpm
Arah Putaran Poros Engkol	Berlawanan arah jarum jam (dari sisi flywheel)
Sisi Operasi	Kiri (dilihat dari flywheel)
Urutan Pengapian	1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5 - 1
Sistem Turbo	Exhaust gas turbocharger dengan <i>intercooler</i>
Sistem Pendingin	<i>High temperature water cooling</i> (air laut + <i>fresh water</i>)
Sistem Pelumasan	Fully automatic <i>pump</i> lubrication, wet sump
Sistem Start	Motor listrik atau motor udara (air starting motor)
Dimensi Panjang	2,203 mm
Dimensi Lebar	1,138 mm
Dimensi Tinggi	1,810 mm
Berat Kering (tanpa gearbox)	3,200 kg (4,150 kg dengan gearbox)

Tekanan Air Pendingin (<i>Fresh Water</i>)	3.0–3.5 kgf/cm ²
Tekanan Air Pendingin (<i>Sea Water</i>)	2.0–2.5 kgf/cm ²
Suhu Air Pendingin Mesin	70–80 °C

Sumber: MT. ZOEY

2. Waktu kejadian

Kejadian ini berlangsung dalam periode penulis bekerja di atas kapal MT. ZOEY selama dua hari berturut-turut, dimulai dari tangga 10 Januari 2025. Pada hari pertama, sistem pendinginan Air Laut beroperasi dengan normal, dengan suhu dan tekanan yang stabil. Namun, pada hari kedua, mulai terdeteksi kenaikan temperatur Air Laut di atas ambang batas operasional normal, yang menunjukkan adanya gangguan pada sistem pendinginan.

Selama dua hari tersebut, pengamatan dilakukan sebanyak enam kali setiap harinya, dimulai pukul 08.00 hingga 20.00. Data yang diambil mencakup suhu Air Laut (in dan out), suhu *jacket cooling*, tekanan air pendingin.

B. Situasi dan Kondisi

Pada saat penulis bertugas sebagai *Chief Engineer* di atas kapal MT. Zoey, terjadi gangguan pada salah satu unit *generator* utama yang menggunakan mesin diesel bantu tipe Weichai WP6CD152E200. Kejadian ini berlangsung selama kapal sedang dalam perjalanan dari pelabuhan di Malaysia menuju Singapura. Dalam kondisi normal, *generator* tersebut beroperasi stabil dengan suhu pendingin air laut berkisar antara 75–80°C . Namun, pada kejadian ini, suhu pendingin air laut meningkat secara signifikan hingga mencapai 99°C , melebihi batas aman operasional yang ditentukan oleh *manual book* mesin.

Kenaikan temperatur ini memicu alarm *overheat* pada sistem kontrol *generator*, sehingga operator segera melakukan inspeksi awal untuk mengidentifikasi penyebab masalah. Langkah pertama yang dilakukan adalah memeriksa seluruh komponen sistem pendingin air laut secara menyeluruh, mulai dari *sea chest*, pompa air laut, *tube cooler (heat exchanger)*, sensor

temperatur, hingga *thermostat*. Hal ini dilakukan guna memastikan apakah gangguan bersifat mekanis, elektrik, atau akibat faktor lingkungan seperti kualitas air laut.

Tabel 3 Data Operasional *Generator Engine*

Hari / Waktu	Tekanan Air Laut (bar)	Suhu Keluar Air Laut (°C)	Suhu Jacket Cool AE (°C)	Suhu Air Tawar Outlet Cooler (°C)	Kondisi
(Normal)					
08:00	2.8	34	78	68	Normal
10:00	2.9	35	80	69	Normal
12:00	2.8	34	82	68	Normal
14:00	2.8	34	84	68	Normal
16:00	2.9	35	82	69	Normal
18:00	2.8	34	80	68	Normal
(Abnormal)					
20.00	2.0	39	84	74	Tekanan turun
22:00	1.8	41	87	76	Tekanan turun
24:00	1.6	43	89	78	<i>Overheat</i> ringan
08:00	1.5	44	91	79	<i>Overheat</i>
10:00	1.1	42	95	77	Tekanan rendah
12:00	1.0	40	99	75	Tekanan sangat rendah suhu tinggi

Sumber: MT. ZOXY

Berdasarkan data yang tercatat, pada awal pengamatan sistem pendingin air laut berada dalam kondisi normal. Tekanan air laut stabil di kisaran 2,8–2,9 bar , dengan suhu keluar air laut berkisar antara 34–35°C . Suhu *jacket water auxiliary engine* (A/E) juga berada dalam batas aman, yaitu antara 78–82°C ,

dan suhu air tawar *outlet* berada di sekitar 68–69°C . Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pendingin bekerja secara optimal, dengan aliran air laut yang cukup serta proses perpindahan panas yang efisien melalui *heat exchanger*.

Namun, mulai pukul 20:00 , terjadi penurunan tekanan air laut secara bertahap hingga mencapai 2,0 bar , disertai kenaikan suhu keluar air laut menjadi 39°C . Suhu *jacket water A/E* juga meningkat menjadi 84°C , demikian pula suhu air tawar *outlet* naik menjadi 74°C . Hal ini menandakan mulai adanya hambatan dalam aliran air laut atau penurunan efisiensi pada *heat exchanger*. Pada pukul 22:00 , tekanan air laut turun lebih lanjut ke 1,8 bar , suhu air laut keluar mencapai 41°C , dan suhu *jacket water* naik menjadi 87°C , menunjukkan bahwa sistem pendingin semakin tidak mampu menyerap panas dari mesin secara efektif.

Pada pukul 24:00 , tekanan air laut terus menurun hingga 1,6 bar , sementara suhu keluar air laut mencapai 43°C . Suhu *jacket water auxiliary engine* pun meningkat drastis hingga 89°C , dan suhu air tawar *outlet* mencapai 78°C , sehingga dikategorikan sebagai kondisi *overheat* ringan . Kondisi semakin memburuk pada pukul 08:00 hari berikutnya, di mana tekanan air laut turun hingga 1,5 bar , suhu air laut keluar mencapai 44°C , dan suhu *jacket water* mencapai 91°C . Pada pukul 10:00 , tekanan air laut hanya tersisa 1,1 bar , suhu air laut keluar mencapai 42°C , dan suhu *jacket water* melonjak hingga 95°C , menunjukkan kondisi *overheat* yang cukup serius. Pada akhirnya, pukul 12:00 , tekanan air laut turun drastis hingga 1,0 bar , suhu air laut keluar mencapai 40°C , dan suhu *jacket water* mencapai 99°C , membuktikan bahwa sistem pendingin mengalami gangguan berat yang sangat berisiko bagi keselamatan dan umur pakai mesin jika dibiarkan terus beroperasi tanpa perbaikan.

Berdasarkan informasi dari dokumen dan percakapan sebelumnya, berikut adalah Tabel Pelaksanaan Perawatan yang dapat menjadi bukti bahwa kejadian peningkatan suhu pada sistem pendingin air laut *generator* di atas Kapal MT. Zoey disebabkan oleh kurangnya perawatan rutin , khususnya pada *Filter Sea Chest* dan *Shell and Tube Heat Exchanger* .

Tabel 4 Pelaksanaan Perawatan Sistem Pendingin Air Laut *Generator*
(Sebelum dan Sesudah Kejadian)

Jenis Perawatan	Jadwal PMS	Riwayat Perawatan Terakhir	Kondisi Setelah Diperiksa
Pembersihan <i>Filter Sea Chest</i>	Setiap 3 hari (di perairan berlumpur)	Terakhir dilakukan 2 minggu lalu	<i>Filter</i> tersumbat lumpur, plankton, dan serpihan organik laut
Inspeksi Visual Pompa Air Laut	Setiap bulan	Dilakukan 1 bulan lalu	Putaran pompa sedikit menurun, tidak ada kebocoran
Pembersihan <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	Setiap 3 bulan atau setelah 500 jam operasi	Terakhir dilakukan 4 bulan lalu	<i>Tube heat exchanger</i> dipenuhi kerak mineral dan <i>biofouling</i>
Penggantian Anoda <i>Heat Exchanger</i>	Setiap 6 bulan	Terakhir dilakukan 8 bulan lalu	Anoda sudah habis terkorosi
Chemical Cleaning <i>Heat Exchanger</i>	Setiap 6 bulan	Tidak pernah dilakukan sejak 1 tahun terakhir	Endapan kerak keras pada <i>tube</i>
Kalibrasi Sensor Temperatur & Tekanan	Setiap 2 bulan	Dilakukan 3 bulan lalu	Sensor masih dalam toleransi
Pemeriksaan Sistem Alarm <i>Overheat</i>	Setiap bulan	Dilakukan sesuai jadwal	Alarm bekerja normal saat suhu mencapai 95°C

Sumber: MT. ZOELY

Berdasarkan data pelaksanaan perawatan yang tercatat, terdapat beberapa komponen sistem pendingin yang tidak dirawat sesuai jadwal PMS (*Planned Maintenance System*), terutama pembersihan *filter sea chest* dan *heat exchanger*. Frekuensi perawatan yang seharusnya dilakukan lebih sering di perairan Malaysia–Singapura yang kaya organisme laut tidak terpenuhi. Hal ini menyebabkan *filter sea chest* tersumbat oleh lumpur, plankton, dan partikel organik, sementara *tube heat exchanger* mengalami *fouling* berupa penumpukan kerak mineral dan biofilm.

Kondisi tersebut secara langsung memengaruhi aliran air laut yang masuk ke dalam sistem pendingin. Tekanan air laut yang seharusnya stabil pada kisaran 2,8–3,0 bar turun drastis hingga 1,0 bar, sehingga volume air pendingin yang mencapai *heat exchanger* menjadi tidak cukup untuk menyerap panas dari *jacket water generator*. Akibatnya, suhu mesin meningkat tajam hingga mencapai 97°C, jauh di atas batas aman operasional mesin diesel bantu jenis Weichai 6CD

Setelah dilakukan pembersihan menyeluruh pada *filter sea chest* dan *heat exchanger*, kondisi sistem pendingin mulai membaik. Tekanan air laut naik kembali ke kisaran normal, dan suhu *jacket water* turun hingga mencapai nilai operasional yang aman. Hasil ini membuktikan bahwa gangguan pada sistem pendingin disebabkan oleh kurangnya perawatan preventif serta tidak optimalnya pelaksanaan program pemeliharaan berbasis jadwal. Dengan demikian, diperlukan penegakan disiplin terhadap pelaksanaan PMS agar insiden serupa tidak terulang di masa mendatang.

C. Temuan

Berdasarkan data operasional dan hasil inspeksi lapangan, dapat dianalisis bahwa kenaikan suhu *jacket water generator* hingga mencapai 92°C disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penyumbatan pada *filter sea chest* dan *fouling* pada *shell and tube heat exchanger*. Kedua kondisi ini saling berkaitan dan secara bersama-sama menurunkan efisiensi sistem pendingin air laut *generator* kapal MT. Zoey. Selain itu, kurangnya pelaksanaan perawatan rutin menjadi akar permasalahan dari terjadinya gangguan tersebut.

Kondisi abnormal pada sistem pendingin dimulai dengan penurunan tekanan air laut dari nilai normal sebesar 2,8 bar menjadi hanya 1,0 bar. Hal ini diikuti oleh kenaikan suhu air tawar *outlet* hingga mencapai 78°C dan suhu *jacket cooling auxiliary engine* naik menjadi 92°C. Pencatatan data dilakukan setiap 4 jam selama dua hari pengamatan, sehingga memungkinkan identifikasi pola penurunan performa sistem pendingin secara bertahap.

1. Penyumbatan pada *Filter Sea Chest*

Gambar 10 Kotoran Pada *Filter Inlet* Pompa Air Laut



Penyumbatan pada *filter sea chest* menjadi salah satu penyebab utama penurunan aliran air laut ke dalam sistem pendingin. Berdasarkan hasil inspeksi visual yang dilakukan saat kapal sandar, permukaan *filter* dipenuhi lumpur, pasir, plankton, serta serpihan sampah organik seperti plastik dan sisa-sisa rumput laut. Material tersebut masuk ke dalam *sea chest* melalui celah masuk air laut dan secara bertahap menumpuk karena tidak dibersihkan sesuai jadwal perawatan.

Akumulasi material pada *filter* menyebabkan aliran air laut terhambat, sehingga tekanan air laut turun drastis dari kondisi normal sekitar 2,8 bar menjadi hanya 1,0 bar . Penurunan tekanan ini berdampak langsung pada kemampuan pompa air laut dalam menyuplai volume air yang cukup untuk proses pendinginan. Pompa harus bekerja lebih keras untuk menghisap air laut melalui *filter* yang tersumbat, meningkatkan risiko kerusakan mekanis seperti kavitasi pada impeller.

Selain itu, penurunan aliran air laut juga menyebabkan suhu air tawar *outlet* naik dari rata-rata 65–70°C menjadi 78°C , dan suhu *jacket water auxiliary engine* meningkat hingga 92°C . Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pendingin tidak lagi mampu menjaga mesin *generator* dalam batas aman operasional. Jika dibiarkan terus-menerus, hal ini dapat menyebabkan *overheating*, kerusakan komponen internal, dan bahkan trip total *generator*.

2. Fouling pada Heat Exchanger

Gambar 11 Fouling Pada Pendingin Air Laut



Temuan kedua berasal dari inspeksi internal *shell and tube heat exchanger* yang dilakukan setelah kapal sandar untuk perawatan. Setelah dilakukan pembongkaran, ditemukan lapisan kerak tebal yang menempel pada permukaan dalam pipa (*tube*). Ketebalan kerak bervariasi antara 0,5 mm hingga 1,2 mm, yang secara signifikan mempersempit luas penampang pipa dan mengurangi laju perpindahan panas dari air tawar ke air laut.

Kerak tersebut terdiri dari endapan garam laut, partikel anorganik, serta biofilm yang terbentuk dari reaksi korosi ringan antara logam *tube* (biasanya tembaga atau nikel-tembaga) dengan ion aktif dalam air laut. Proses ini dipercepat ketika aliran air laut terhambat akibat penyumbatan *filter sea chest*, menyebabkan air laut tinggal lebih lama di dalam sistem dan memberikan waktu bagi mineral dan mikroorganisme untuk mengendap.

Akibatnya, efisiensi perpindahan panas menurun secara drastis. Meskipun pompa air laut berhasil menghisap air laut dalam jumlah tertentu, proses pendinginan tetap tidak optimal karena adanya isolasi termal dari lapisan kerak. Suhu air tawar *outlet* naik hingga mencapai 78°C, dan suhu *jacket water auxiliary engine* mencapai titik kritis 92°C, membuktikan bahwa *heat exchanger* gagal menjalankan fungsinya secara maksimal jika *fouling* tidak segera diatasi.

3. Kurangnya perawatan

Hasil analisis terhadap *logbook engine room* dan riwayat *maintenance* menunjukkan bahwa beberapa aktivitas perawatan rutin tidak dilaksanakan sesuai jadwal *Planned Maintenance System* (PMS). Frekuensi pembersihan *filter sea chest* yang seharusnya dilakukan setiap 3–5 hari selama kapal beroperasi di perairan Malaysia–Singapura, hanya dilakukan satu kali dalam kurun waktu lebih dari dua minggu. Selain itu, pembersihan *heat exchanger* juga tidak dilakukan secara berkala, padahal frekuensi idealnya adalah setiap 3 bulan atau setelah 500 jam operasi.

Kurangnya disiplin dalam pelaksanaan program pemeliharaan preventif menjadi akar permasalahan utama dari penurunan performa sistem pendingin. Tidak adanya chemical cleaning selama lebih dari satu tahun semakin memperparah kondisi *fouling* pada *tube heat exchanger*. Selain itu, anoda pada *heat exchanger* tidak diganti sesuai jadwal, meningkatkan risiko korosi internal yang dapat menyebabkan kebocoran atau penyumbatan pada pipapipa kecil.

Faktor lain yang turut berkontribusi adalah minimnya monitoring tekanan dan suhu secara *real-time*. Kapal MT. Zoey belum dilengkapi dengan sistem alarm otomatis untuk mendeteksi penurunan tekanan air laut atau kenaikan suhu *jacket water* secara dini. Hal ini membuat *crew engineering* tidak segera menyadari adanya gangguan pada sistem pendingin hingga suhu mesin mencapai batas kritis dan alarm *overheat* aktif.

Untuk mencegah insiden serupa di masa mendatang, sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi pelaksanaan perawatan sistem pendingin. Jadwal perawatan harus diikuti secara ketat, terutama saat kapal berlayar di perairan yang berlumpur dan kaya organisme laut. Selain itu, dibutuhkan pula penambahan sistem monitoring otomatis serta pelatihan rutin bagi *crew engineering* agar lebih proaktif dalam mengidentifikasi potensi masalah pada sistem pendingin *generator*.

D. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data operasional sistem pendingin air laut *generator* di atas kapal MT. Zoey, dapat disimpulkan bahwa

peningkatan suhu *jacket water auxiliary engine* (A/E) hingga mencapai 97°C , jauh di atas batas aman operasional mesin diesel bantu tipe Weichai WP6CD152E200 (maksimal 80°C), dipengaruhi oleh dua faktor utama: penyumbatan pada *filter sea chest* dan *fouling* pada *shell and tube heat exchanger* . Kedua kondisi ini saling berkaitan dan secara bersama-sama menurunkan efisiensi proses perpindahan panas dalam sistem pendingin. Selain itu, kurangnya pelaksanaan program pemeliharaan preventif menjadi faktor pendukung utama terjadinya gangguan tersebut.

1. Penyumbatan pada *Filter Sea Chest* dan Dampaknya terhadap Tekanan Sistem

Filter sea chest merupakan komponen kritis dalam sistem pendingin air laut, karena bertugas menyaring partikel besar seperti lumpur, pasir, plankton, dan serpihan organik sebelum air laut masuk ke pompa pendingin. Pada saat inspeksi dilakukan, ditemukan bahwa permukaan *filter* dipenuhi endapan organik tebal, termasuk sisa rumput laut, lumpur, dan partikel anorganik lainnya.

Penyumbatan ini menyebabkan aliran air laut terhambat, sehingga tekanan air laut turun drastis dari nilai normal sekitar 2,8 bar menjadi hanya 1,0 bar . Penurunan tekanan ini memicu penurunan volume air laut yang mencapai *heat exchanger*, sehingga kemampuan sistem dalam menyerap panas dari *jacket water* menurun secara signifikan. Pompa air laut pun harus bekerja lebih keras untuk menghisap air laut melalui *filter* yang tersumbat, meningkatkan risiko kavitasi pada impeller dan potensi kerusakan mekanis pada poros pompa.

Selain itu, rendahnya tekanan air laut juga menyebabkan suhu air tawar *outlet* naik dari rata-rata 68–70°C menjadi 78°C , dan suhu *jacket water auxiliary engine* mencapai titik kritis 97°C , membuktikan bahwa sistem pendingin gagal menjaga mesin dalam batas aman operasional jika tidak ada intervensi perawatan segera.

2. *Fouling* pada *Shell and Tube Heat Exchanger* dan Pengaruhnya terhadap Efisiensi Termal

Setelah dilakukan pembongkaran partial pada *shell and tube heat exchanger*, ditemukan lapisan kerak tebal yang menempel pada permukaan dalam pipa-pipa. Ketebalan kerak bervariasi antara 0,5 mm hingga 1,2 mm ,

yang secara signifikan mempersempit luas penampang pipa dan mengurangi laju perpindahan panas dari air tawar ke air laut.

Kerak tersebut terbentuk akibat reaksi kimia antara ion kalsium dan magnesium dalam air laut dengan panas dari *jacket water*, menghasilkan deposit mineral seperti calcium carbonate. Selain itu, adanya mikroorganisme laut yang menempel dan berkembang biak di permukaan dalam pipa menyebabkan pembentukan biofilm yang semakin memperparah kondisi *fouling*. Proses ini dipercepat ketika aliran air laut terhambat akibat penyumbatan *filter sea chest*, menyebabkan air laut tinggal lebih lama di dalam sistem dan memberikan waktu bagi mineral dan mikroorganisme untuk mengendap.

Akibatnya, efisiensi perpindahan panas menurun secara drastis. Meskipun tekanan air laut sempat pulih setelah pembersihan *filter*, suhu *jacket water* tetap tinggi karena *heat exchanger* gagal menjalankan fungsinya secara maksimal. Suhu air tawar *outlet* naik hingga mencapai 78°C, dan suhu *jacket water auxiliary engine* mencapai titik kritis 92°C, membuktikan bahwa *heat exchanger* gagal menjaga mesin *generator* dalam batas aman operasional jika *fouling* tidak segera diatasi.

3. Kurangnya Pelaksanaan Program Pemeliharaan Preventif sebagai Akar Permasalahan

Hasil analisis terhadap riwayat *maintenance* dan *logbook engine room* menunjukkan bahwa beberapa aktivitas perawatan rutin tidak dilaksanakan sesuai jadwal *Planned Maintenance System* (PMS). Frekuensi pembersihan *filter sea chest* yang seharusnya dilakukan setiap 3–5 hari selama kapal beroperasi di perairan Malaysia–Singapura, hanya dilakukan satu kali dalam kurun waktu lebih dari dua minggu. Demikian juga, pembersihan *heat exchanger* terakhir dilakukan 4 bulan lalu, sedangkan frekuensi idealnya adalah setiap 3 bulan atau setelah 500 jam operasi.

Selain itu, tidak adanya chemical cleaning selama lebih dari satu tahun semakin memperparah kondisi *fouling* pada *tube heat exchanger*. Anoda pada *heat exchanger* juga tidak diganti sesuai jadwal, meningkatkan risiko korosi internal yang dapat menyebabkan kebocoran atau penyumbatan pada pipapipa kecil. Minimnya monitoring tekanan dan suhu secara *real-time* membuat *crew*

engineering tidak segera menyadari adanya gangguan pada sistem pendingin hingga suhu mesin mencapai batas kritis dan alarm *overheat* aktif. Faktor lingkungan operasional juga menjadi pertimbangan penting. Kapal MT. Zoey berlayar di perairan Malaysia–Singapura yang memiliki kadar organisme laut dan lumpur tinggi. Hal ini menuntut frekuensi perawatan yang lebih intensif dibandingkan dengan kapal yang beroperasi di perairan bersih. Tanpa adanya penyesuaian jadwal perawatan terhadap kondisi lingkungan dan beban operasional, risiko penurunan performa sistem pendingin akan terus meningkat.

4. Rekomendasi Strategis untuk Pencegahan Masalah Serupa

Untuk mencegah insiden serupa di masa mendatang, sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi pelaksanaan perawatan sistem pendingin. Jadwal perawatan harus diikuti secara ketat, terutama saat kapal berlayar di perairan yang berlumpur dan kaya organisme laut. Selain itu, dibutuhkan pula penambahan sistem monitoring otomatis serta pelatihan rutin bagi *crew engineering* agar lebih proaktif dalam mengidentifikasi potensi masalah pada sistem pendingin *generator*.

Beberapa langkah perbaikan yang direkomendasikan meliputi:

- a. Meningkatkan frekuensi pembersihan manual *filter sea chest* menjadi setiap 3 hari selama kapal beroperasi di perairan dengan kadar kontaminasi tinggi.
- b. Melakukan chemical cleaning *heat exchanger* setiap 6 bulan atau setiap 500 jam operasi, untuk mencegah penumpukan kerak mineral dan *biofilm*.
- c. Memasang indikator tekanan dan sensor suhu tambahan untuk deteksi dini penurunan performa sistem pendingin.
- d. Menambahkan sistem *blow-down* atau *air bubble system* untuk membantu membersihkan debris secara otomatis.
- e. Memberikan pelatihan rutin kepada *crew engineering* tentang cara identifikasi awal penyumbatan dan *fouling* menggunakan data operasional dan parameter tekanan/suhu.
- f. Menerapkan sistem CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) untuk pencatatan dan prediksi kebutuhan perawatan berbasis data historis.

Dengan penerapan strategi perawatan yang lebih disiplin dan didukung oleh teknologi monitoring yang memadai, maka sistem pendingin air laut *generator* dapat terus beroperasi dalam kondisi optimal, menjaga keselamatan, efisiensi, dan umur pakai mesin dalam jangka panjang.

Tabel 5 Tabel perawatan terencana

No.	Kegiatan	Frekuensi	Waktu Pelaksanaan	Tanggung Jawab	Keterangan
1	Pembersihan <i>Filter</i> Air Laut	Setiap 1 bulan atau sesuai kebutuhan	Setiap bulan atau jika terindikasi penyumbatan	Operator / Teknisi	Pembersihan untuk memastikan aliran air laut lancar dan sistem pendingin berfungsi optimal
2	Pemeriksaan Tekanan pada <i>Filter</i>	Setiap 1 bulan atau setelah pembersihan <i>filter</i>	Setiap bulan atau setelah pembersihan	Operator / Teknisi	Memastikan tekanan air laut sesuai dengan standar operasi yang aman
3	Inspeksi dan Pembersihan <i>Heat Exchanger</i>	Setiap 3 bulan	Setiap 3 bulan atau jika ada indikasi penurunan performa	Teknisi / <i>Crew Engineering</i>	Pembersihan kerak atau kotoran yang menempel pada plat dan pipa <i>heat exchanger</i>
4	Pemeriksaan Kebocoran pada Sistem Pendingin	Setiap 6 bulan	Setiap 6 bulan atau lebih sering jika ada indikasi kebocoran	Teknisi / <i>Crew Engineering</i>	Memastikan tidak ada kebocoran yang mengurangi efisiensi sistem pendingin

5	Pengujian Efisiensi Perpindahan Panas pada <i>Heat Exchanger</i>	Setiap 6 bulan	Setiap 6 bulan atau jika ada penurunan kinerja mesin	Teknisi / <i>Crew Engineering</i>	Mengukur efektivitas <i>heat exchanger</i> dalam mentransfer panas dan memastikan
					performa optimal
6	Pemeriksaan Suhu dan Tekanan Sistem Pendingin	Setiap 12 jam saat operasi	Setiap 12 jam atau sesuai jadwal shift operasional	Operator / Teknisi	Memantau suhu Air Laut dan tekanan pada sistem pendingin untuk mendeteksi anomali sejak dini
7	Pemeriksaan Suhu Air Laut dan Beban Mesin	Setiap 12 jam saat operasi	Setiap 12 jam atau sesuai jadwal shift operasional	Operator / Teknisi	Memastikan suhu air laut tidak terlalu tinggi yang dapat menambah beban pada sistem pendingin
8	Pencatatan dan Analisis Data Operasional	Setiap 24 jam	Setiap hari atau sesuai shift	Operator / Teknisi	Melakukan pencatatan data temperatur dan tekanan untuk analisis kondisi sistem pendingin dan mesin

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap sistem pendingin Air Laut pada *generator*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyebab utama penurunan kinerja sistem pendingin air laut pada *generator* kapal MT. Zoey adalah penyumbatan *filter sea chest* oleh lumpur, plankton, dan partikel organik menyebabkan aliran air laut terhambat, sehingga tekanan air laut turun dari kondisi normal 2,8 bar menjadi 1,0 bar. *Fouling* (penumpukan kerak mineral dan biofilm) pada permukaan dalam pipa *heat exchanger* mengganggu proses perpindahan panas, sehingga suhu *jacket water auxiliary engine* naik hingga mencapai 97°C, jauh di atas batas aman operasi mesin.
2. Kurangnya pelaksanaan perawatan rutin berdasarkan *Planned Maintenance System* (PMS) menjadi faktor pendukung utama terjadinya gangguan tersebut. Frekuensi pembersihan *filter sea chest* tidak sesuai dengan kondisi lingkungan operasional kapal di perairan Malaysia–Singapura yang kaya kontaminan. Chemical cleaning *heat exchanger* tidak dilakukan secara berkala selama lebih dari satu tahun, memperparah kondisi *fouling*.

B. Saran

Untuk mencegah naiknya suhu pendingin Air Laut yang berdampak pada *generator*, dapat diterapkan beberapa langkah berikut:

1. Meningkatkan frekuensi pembersihan manual *filter sea chest* menjadi setiap 3–5 hari selama kapal beroperasi di perairan Malaysia–Singapura yang memiliki kadar kontaminasi tinggi. Hal ini bertujuan untuk menjaga aliran air laut tetap stabil dan mencegah penurunan tekanan yang berimbas pada efisiensi pendinginan.
2. Melakukan chemical cleaning *heat exchanger* minimal setiap 6 bulan atau setelah 500 jam operasi, untuk mencegah penumpukan kerak mineral dan biofilm yang mengganggu proses perpindahan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., et al. "Analisis Kinerja Sistem Pendingin Mesin Kapal dengan Menggunakan *Heat Exchanger*." Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 12, No. 3, 2021.
- Brown, J. (2020). *Heat Exchanger Performance in Auxiliary Engine Cooling Systems*. Marine Engineering Journal, 45(3), 225-240.
- Brown, P. (2020). Corrosion and Fouling Effects in *Heat Exchangers* on Ships. International Journal of Marine Engineering, 39(7), 111-124.
- Budi, F. (2021) "Pengaruh Temperatur Air Laut terhadap Kinerja Sistem Pendingin Kapal." Jurnal Teknik Maritim, Vol. 9.
- Hasan, S. et al. (2022) "Peningkatan Efisiensi Sistem Pendingin Kapal dengan Teknologi *Heat Exchanger* Modern." Jurnal Maritim Indonesia,
- John, K. (2020). Self-Propelled Oil Barges: Design and Operational Insights. Ocean Transport Studies, 56(1), 47-60.
- Pratama, R. (2020) "Efek Kotoran dalam Sistem *Heat Exchanger* terhadap Efisiensi Sistem Pendingin Kapal." Jurnal Teknologi Perkapalan,
- Putra, E. (2023) "Pengaruh Kotoran pada *Filter* terhadap Performa Sistem Pendingin Mesin Kapal." Jurnal Teknik Mesin Indonesia,
- Rahman, A. (2023) "Peningkatan Sistem Pendingin dengan Penggunaan *Filter* yang Lebih Efisien pada Kapal." Jurnal Perkapalan Indonesia,
- Smith, R. (2019). Advanced *Cooling Technologies* in Marine Auxiliary Engines. Ship Engineering Reviews, 52(2), 118-134.
- Sulaiman, H., et al. (2022) "Studi Kasus: Pengaruh Sistem Pendingin yang Tidak Terawat pada Kapal." Jurnal Ilmu Kelautan,
- Tanjung, F., dan Hidayat, A. (2020) "Studi Perbandingan Sistem Pendingin Air Laut pada Kapal Pelayaran Indonesia." Jurnal Teknologi Perkapalan,
- White, L. (2021). *Filter Maintenance in Cooling Systems for Marine Engines*. Journal of Maritime Technology, 34(4), 205-219.
- Williams, M. (2018). Principles of *Auxiliary Engine* Operation. Marine Engineering Press.
- Yulianto, S. (2021) "Evaluasi Sistem Pendingin Kapal dalam Operasional Pelayaran di Perairan Tropis." Jurnal Maritim Teknologi,

LAMPIRAN



Lampiran 1 Foto Kapal



MARINE TANKERS PTE LTD

SHIP'S PARTICULARS

NAME OF SHIP	ZOEY
CALL SIGN	9V9828
IMO NUMBER	1059395
MMSI NO	563246900
LICENCE NO	SB
OFFICIAL NUMBER	403652
OWNER	MARINE TANKER PTE LTD
CLASSIFICATION	RINA
CLASS	CSA5/5 OIL TANKER F. P<60°C,ESP,CSM
IMO TYPE	DOUBLE HULL AND BOTTOM
PORT OF REGISTRY	SINGAPORE
NUMBER OF REGISTRY	SPECIAL LIMIT
DATE OF REGISTRY	13 DECEMBER 2024
TRADING AREA	SPECIAL LIMIT
MATERIAL OF HULL	STEEL
DATE KEEL LAID	2023
YEAR MADE	2024
NAME OF BUILDER	TAIZHOU HAIBIN SHIP REPAIRING AND BUILDING CO. LTD
GROSS TONAGE	1498 T
NET TONAGE	728 T
DWT	2522.8 T
LIGHT SHIP	1015.6 T
L.O.A	75.72 M
L.B.P	72.00 M
L.W.L	73.80 M
MOULDED BREADTH	12.40 M
DEPTH TO MAINDECK	6.0 M
KEEL TO MSTHEAD	23.674 M
SERVICES SPEED	11 KNOTS
MAIN ENGINE	LB6250ZLC-9 & LB6250ZLCZ-9 MAX. POWER 1103 KW x 2
AUX, ENGINE	CCFJ 120J-H 120 KW x 2 400V-216A. 50 Hz
EMERGENCY GENERATOR	WP4CD66E200. ICXN 60KW/ION 66KW-1500R/MIN
CARGO PUMP	2HM9800-160. CAP 750M3/H. PRES=0.8MPA-1000R/MIN
TOTAL CARGO TANK & SLOP	1(P&S), 2(P&S), 3(P&S), 4(P&S), 5(P&S), SLOP(P&S)
FWT CAPACITY & TOTAL TANK	64.75 M3 TOTAL FW TANKS 2 NOS
BWT CAPACITY & TOTAL TANK	1072.66 M3, TOTAL BWT TANKS 10 NOS
BALLAST PUMP	CISG100-200B Cap.61M3/H. 2900R/MIN-15KW, EF71 %
F.O TANK CAPACITY	NA
D.O TANK CAPACITY	68.78 M3
FIRE PUMP	CISG100-200B Cap.61M3/H. 2900R/MIN-15KW, EF71 %
EMERGENCY FIRE PUMP	65CBZ-50YD. F.RATE 25M3/H, 2900 R/MIN, 7.5 KW





Lampiran 3 Dokumentasi Pemasalahan

RIWAYAT HIDUP



LA ODE MUHAMMAD SYAHRUL, Lahir di Buton pada tanggal 27 April 1994, sebagai putra kedua dari Bapak La Ode Syahrifil dan Ibu Aminah. Penulis tinggal di Kecamatan Murhum, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Mengawali pendidikan di SD Negeri Keraton Bau-Bau hingga tahun 2006, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 4 Bau-Bau sampai tahun 2009, dan meneruskan pendidikan di SMA Negeri 1 Bau-Bau hingga tahun 2012. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik AMI Makassar, sebagai angkatan XLIX, dengan jurusan Teknik. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Diploma III dan memperoleh sertifikasi sebagai Ahli Teknik Tingkat III (ATT-III) pada tahun 2016, kemudian berlayar 5 tahun dan mengambil sertifikasi sebagai Ahli Teknik Tingkat II (ATT-II) di Pliteknik Ilmu Pelayaran Makassar sebagai Angkatan XLIX pada tahun 2022. Setelah itu penulis kembali berlayar selama 3 tahun dan sekarang penulis menempuh pendidikan untuk memperoleh sertifikasi sebagai Ahli Teknik Tingkat I (ATT-I) di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.