

Analisis Penurunan Kinerja Auxiliary Boiler terhadap Kualitas Bahan Bakar Mfodi Kapal MV. Kaysan

Andika Syahputra

Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Universitas Hang Tuah, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dikaalfarenza21@gmail.com

Abstract. This study examines the performance degradation of the auxiliary boiler on the MV Kaysan in relation to the condition and quality of its Marine Fuel Oil (MFO). Operational issues identified include steam pipe leaks, carbon buildup on burners and nozzles, poor furnace condition, suboptimal feedwater quality, and inadequate boiler maintenance. These conditions caused a drop in steam pressure, preventing the MFO heating process from reaching the required operating temperature. Consequently, fuel viscosity increased, fuel atomization became imperfect, and combustion efficiency declined. The study aims to analyze the factors causing the auxiliary boiler's performance decline, identify the impact on MFO quality, and determine appropriate maintenance and repair measures. A qualitative approach utilizing a case study method was employed. Data were gathered through direct observation, interviews with engine room crew, documentation, and a review of maintenance records. Analysis was conducted through an iterative process of data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The results indicate that fuel quality, the condition of boiler components, the combustion system, boiler air quality, and maintenance practices are all interconnected with boiler performance. Remedial measures include repairing steam pipe leaks, cleaning burners and nozzles, implementing water treatment, and consistently executing the Planned Maintenance System (PMS).

Keywords: Auxiliary Boiler; Boiler Performance; Fuel Combustion; Marine Fuel Oil (MFO); Planned Maintenance System (PMS).

Abstrak. Penelitian ini membahas penurunan kinerja Auxiliary Boiler di kapal MV. Kaysan yang berkaitan dengan kondisi dan kualitas bahan bakar Marine Fuel Oil (MFO). Permasalahan penelitian muncul dari adanya gangguan operasional berupa kebocoran pipa steam, penumpukan karbon pada burner dan nozzle, kondisi furnace yang kurang baik, serta kualitas feed water dan perawatan boiler yang belum optimal. Kondisi tersebut menyebabkan tekanan steam menurun sehingga proses pemanasan MFO tidak mencapai temperatur kerja yang diperlukan. Akibatnya, viskositas bahan bakar meningkat, proses atomisasi menjadi kurang sempurna, dan pembakaran pada mesin kapal mengalami penurunan efisiensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis faktor penyebab penurunan kinerja Auxiliary Boiler, mengidentifikasi dampaknya terhadap kualitas MFO, serta menentukan upaya perawatan dan perbaikan yang sesuai. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus. Data diperoleh melalui observasi langsung, wawancara dengan awak kamar mesin, dokumentasi, serta pemeriksaan catatan perawatan. Analisis dilakukan melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan secara berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar, kondisi komponen boiler, sistem pembakaran, kualitas air boiler, dan pelaksanaan perawatan saling berkaitan dengan kinerja boiler. Upaya perbaikan meliputi perbaikan kebocoran pipa steam, pembersihan burner dan nozzle, penerapan water treatment, serta pelaksanaan Planned Maintenance System (PMS) secara konsisten.

Kata Kunci: Boiler Bantu; Kinerja Boiler; Marine Fuel Oil (MFO); Pembakaran Bahan Bakar; Sistem Perawatan Terencana (PMS).

1. LATAR BELAKANG

Auxiliary boiler merupakan salah satu permesinan bantu yang memiliki peranan penting dalam menunjang kelancaran operasional kapal. Peralatan ini berfungsi menghasilkan uap yang dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan di atas kapal, terutama pada sistem yang menggunakan bahan bakar Marine Fuel Oil (MFO) (Gunarti et al., 2022). Uap yang dihasilkan tidak hanya digunakan untuk kebutuhan pendukung, tetapi juga berperan dalam proses pemanasan bahan bakar agar berada pada kondisi yang sesuai sebelum digunakan dalam sistem pembakaran. Oleh sebab itu, kestabilan tekanan dan temperatur steam menjadi bagian penting

dalam menjaga keandalan sistem permesinan kapal. Apabila kinerja auxiliary boiler mengalami gangguan, proses pemanasan bahan bakar dapat ikut terganggu dan pada akhirnya memengaruhi proses pembakaran serta efisiensi operasional kapal (Ansar et al., 2023). Marine Fuel Oil memiliki karakteristik viskositas yang relatif tinggi sehingga membutuhkan pemanasan sebelum digunakan. Pemanasan tersebut bertujuan menurunkan viskositas bahan bakar agar alirannya lebih baik dan proses atomisasi dapat berlangsung secara optimal (Karatuğ et al., 2023). Kondisi temperatur bahan bakar memiliki hubungan yang erat dengan kualitas pembakaran. Ketika temperatur bahan bakar tidak mencapai kondisi yang diperlukan, viskositas menjadi lebih tinggi, proses pengabutan bahan bakar menjadi kurang sempurna, dan pencampuran bahan bakar dengan udara tidak berlangsung secara optimal (Bicen & Celik, 2023). Keadaan tersebut dapat menyebabkan pembakaran kurang sempurna, meningkatkan konsumsi bahan bakar, menghasilkan asap gas buang yang lebih pekat, serta menurunkan efisiensi kerja mesin (Bimantara et al., 2023). Kinerja auxiliary boiler sangat menentukan keberhasilan proses pemanasan bahan bakar tersebut.

Gangguan pada komponen boiler, seperti kebocoran pipa steam, penumpukan kerak pada burner atau nozzle, kerusakan furnace, serta kualitas feed water yang kurang baik, dapat mengurangi kemampuan boiler dalam menghasilkan dan mempertahankan tekanan steam (Laili et al., 2026). Kondisi tersebut pada akhirnya menyebabkan suplai panas menuju sistem pemanas bahan bakar tidak mencukupi (Ampah et al., 2022). Dengan demikian, hubungan antara auxiliary boiler dan kualitas MFO tidak dapat dipandang sebagai dua sistem yang berdiri sendiri, karena perubahan kinerja boiler dapat secara langsung memengaruhi kondisi bahan bakar sebelum masuk ke sistem pembakaran. Permasalahan tersebut ditemukan secara nyata selama pelaksanaan praktik laut di kapal MV. Kaysan. Berdasarkan hasil pengamatan, auxiliary boiler mengalami beberapa gangguan yang ditandai dengan kebocoran pada pipa steam, penumpukan deposit karbon pada burner, ketidakstabilan tekanan steam, serta kondisi ruang bakar yang tidak optimal. Gangguan tersebut menyebabkan proses pemanasan bahan bakar MFO tidak berlangsung sebagaimana mestinya sehingga temperatur bahan bakar sering berada di bawah kondisi operasional yang diperlukan. Dampak yang muncul antara lain peningkatan konsumsi bahan bakar, pembakaran yang kurang sempurna, asap gas buang yang lebih pekat, dan menurunnya efisiensi operasional mesin kapal. Kondisi yang lebih spesifik ditemukan ketika kapal MV. Kaysan melakukan pelayaran dari Morowali menuju Muara Jawa, Kalimantan, untuk melaksanakan proses pemuatan. Pada 27 Juli 2025 pukul 23.28 WITA, sistem pemanas bahan bakar mengalami gangguan operasional. Pemeriksaan terhadap auxiliary boiler menunjukkan adanya kebocoran pada sejumlah pipa steam. Dari keseluruhan

48 pipa steam yang terdapat pada boiler, ditemukan 13 pipa mengalami kebocoran atau sekitar 27,08 persen. Kerusakan tersebut menyebabkan tekanan steam menurun sehingga distribusi panas menuju fuel oil heater menjadi tidak optimal. Kondisi ini berpengaruh terhadap proses pemanasan bahan bakar dan selanjutnya dapat mengganggu proses pembakaran pada mesin kapal. Selain kebocoran pipa steam, ditemukan pula penumpukan karbon pada nozzle burner dan adanya air di dalam furnace. Kondisi burner yang kotor dapat menghambat proses atomisasi bahan bakar, sedangkan ruang bakar yang lembap dan tidak bersih dapat mengganggu proses pembakaran (Hu et al., 2023). Pemeriksaan di lapangan juga menunjukkan bahwa kualitas air boiler dan pelaksanaan perawatan menjadi bagian yang perlu mendapat perhatian. Gangguan tersebut memperlihatkan bahwa penurunan kinerja auxiliary boiler tidak hanya berkaitan dengan satu komponen, tetapi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berhubungan (Dewi & Irwanto, 2022). Oleh karena itu, pemeliharaan yang terencana dan pemeriksaan terhadap setiap komponen yang berkaitan dengan pembentukan steam menjadi hal penting untuk menjaga keandalan boiler.

Kajian penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa persoalan auxiliary boiler telah diteliti dari berbagai sudut pandang, antara lain penurunan tekanan steam, kualitas bahan bakar, kegagalan burner, dan penyumbatan nozzle. Namun, penelitian terdahulu yang dirujuk dalam dokumen lebih banyak menitikberatkan pada aspek tertentu (Dwisaputra et al., 2025). Penelitian ini memiliki ruang kajian yang lebih menyeluruh dengan menghubungkan penurunan kinerja auxiliary boiler, kondisi tekanan dan temperatur steam, proses pemanasan MFO, perubahan viskositas, serta dampaknya terhadap pembakaran. Pendekatan tersebut diperlukan agar permasalahan yang terjadi di MV. Kaysan dapat dipahami berdasarkan kondisi aktual di lapangan, bukan hanya berdasarkan satu bentuk kerusakan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai penurunan kinerja auxiliary boiler terhadap kualitas MFO di kapal MV. Kaysan menjadi penting untuk dilakukan. Analisis diperlukan untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kinerja boiler, memahami dampaknya terhadap temperatur dan viskositas bahan bakar serta proses pembakaran, sekaligus menentukan tindakan perawatan dan perbaikan yang sesuai. Upaya seperti perbaikan pipa steam, pembersihan burner dan nozzle, pengendalian kualitas air boiler, serta penerapan Planned Maintenance System (PMS) diharapkan dapat menjaga kinerja auxiliary boiler tetap optimal. Dengan demikian, keandalan sistem pemanasan bahan bakar dapat dipertahankan, kualitas pembakaran dapat ditingkatkan, dan kelancaran operasional kapal MV. Kaysan dapat lebih terjamin.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis studi kasus intrinsik. Pendekatan tersebut dipilih karena penelitian berfokus pada pemahaman secara mendalam mengenai penurunan kinerja Auxiliary Boiler dan kaitannya dengan kualitas Marine Fuel Oil (MFO) berdasarkan kondisi nyata yang terjadi di kapal MV. Kaysan. Peneliti menjadi instrumen utama dan terlibat secara langsung dalam pengamatan kondisi operasional di kamar mesin serta diskusi teknis dengan awak kapal. Penelitian dilaksanakan di atas kapal MV. Kaysan yang dioperasikan oleh PT Gurita Lintas Samudera, dengan objek utama berupa Auxiliary Boiler, khususnya komponen dan sistem yang berhubungan dengan pembentukan steam dan pemanasan bahan bakar. Pelaksanaan penelitian berlangsung selama praktik laut pada 18 September 2024 sampai 20 September 2025. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi terlibat, wawancara mendalam, dan studi dokumentasi. Observasi diarahkan pada kondisi boiler, proses pembakaran, tekanan steam, sistem pemanasan bahan bakar, serta kegiatan perawatan. Wawancara dilakukan dengan awak mesin, terutama Chief Engineer, untuk memperoleh informasi mengenai penyebab gangguan dan kondisi operasional yang tidak seluruhnya tercatat dalam dokumen resmi. Dokumentasi digunakan dengan menelaah Planned Maintenance System (PMS), oil record book, catatan perawatan, serta bukti kondisi peralatan. Keabsahan data diperkuat melalui triangulasi teknik dengan membandingkan hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi. Analisis data menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña yang meliputi reduksi data, penyajian data, serta penarikan dan verifikasi kesimpulan. Data yang diperoleh diklasifikasikan berdasarkan faktor penyebab penurunan kinerja boiler, dampaknya terhadap kualitas MFO, dan tindakan perawatan atau perbaikan yang dilakukan. Kesimpulan kemudian diverifikasi dengan mencocokkan temuan dari berbagai sumber agar hasil penelitian memiliki dasar yang kuat dan menggambarkan kondisi sebenarnya di MV. Kaysan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran kondisi Auxiliary Boiler MV. Kaysan

Auxiliary Boiler pada MV. Kaysan merupakan peralatan bantu yang menghasilkan steam untuk mendukung kebutuhan panas di kapal, khususnya pemanasan bahan bakar MFO sebelum digunakan dalam sistem pembakaran. Berdasarkan data teknis yang terdapat dalam dokumen penelitian, boiler yang digunakan adalah tipe GCS-21M, dengan satu set boiler pada kapal. Boiler mempunyai design pressure sebesar 0,69 MPa, working pressure 0,54 MPa, safety valve pressure 0,69 MPa, temperatur feed water sekitar 60°C, kapasitas evaporasi oil fired

1.500 kg/jam, evaporasi exhaust gas 850 kg/jam, serta efisiensi boiler sebesar 80%. Bahan bakar yang digunakan tercatat sebagai fuel oil dengan karakteristik 380 cSt pada 50°C. Kondisi normal yang diamati menunjukkan bahwa Auxiliary Boiler mampu menghasilkan steam pada tekanan sekitar 0,69 MPa atau sekitar 7,0 kg/cm². Pada kondisi tersebut, temperatur MFO dapat dipertahankan pada kisaran 90–100°C. Burner menunjukkan nyala api yang stabil dan tidak ditemukan deposit karbon yang mengganggu proses pembakaran. Pipa steam juga berada dalam kondisi baik tanpa kebocoran. Kondisi ini menunjukkan bahwa hubungan antara produksi steam, sistem pemanas bahan bakar, dan pembakaran dapat berjalan secara normal.

Tabel 1. Kondisi Normal Auxiliary Boiler MV. Kaysan.

Parameter	Kondisi Normal	Interpretasi
Tekanan steam	0,69 MPa / $\pm 7,0$ kg/cm ²	Steam tersedia sesuai kebutuhan sistem
Temperatur MFO	90–100°C	Pemanasan bahan bakar berlangsung optimal
Burner	Nyala api stabil, pembakaran sempurna	Atomisasi dan pembakaran berjalan baik
Pipa steam	Tidak terdapat kebocoran	Distribusi steam berlangsung optimal

Sumber: hasil pengamatan dalam dokumen penelitian.

Data tersebut memperlihatkan bahwa parameter utama Auxiliary Boiler memiliki keterkaitan yang erat. Tekanan steam yang memadai memungkinkan fuel oil heater menerima energi panas yang cukup. Energi tersebut kemudian digunakan untuk mempertahankan temperatur MFO pada kondisi yang diperlukan. Ketika temperatur MFO berada pada kisaran 90–100°C, viskositas bahan bakar dapat dikendalikan sehingga bahan bakar lebih mudah dialirkan dan diatomisasikan. Dengan demikian, kondisi normal boiler bukan hanya ditandai oleh tekanan steam yang sesuai, tetapi juga oleh kestabilan temperatur bahan bakar, kondisi burner, serta tidak adanya kebocoran pada sistem steam.

Kondisi Auxiliary Boiler ketika mengalami penurunan kinerja

Hasil penelitian memperlihatkan adanya perbedaan yang cukup jelas antara kondisi normal dan kondisi ketika Auxiliary Boiler mengalami gangguan. Pada kondisi tidak normal, tekanan steam turun hingga berada di bawah nilai yang dibutuhkan, temperatur MFO turun menjadi sekitar 50–70°C, burner mengalami gangguan akibat deposit karbon pada nozzle, dan ditemukan kebocoran pada 13 dari 48 pipa steam.

Tabel 2. Perbandingan Kondisi Normal dan Tidak Normal.

Parameter	Kondisi Normal	Kondisi Tidak Normal	Dampak
Tekanan steam	0,69 MPa / $\pm 7,0$ kg/cm ²	Di bawah 4 MPa / $\pm 4,0$ kg/cm ² *	Pemanasan MFO tidak optimal
Temperatur MFO	90–100°C	50–70°C	Viskositas meningkat
Burner	Api stabil, tanpa deposit	Deposit karbon, api tidak stabil	Atomisasi terganggu
Pipa steam	Tidak bocor	13 dari 48 pipa bocor	Kehilangan tekanan steam
Furnace	Kondisi normal	Terdapat genangan air	Penyalan burner terganggu

Penulisan satuan tekanan pada dokumen memiliki ketidakkonsistenan antara MPa dan kg/cm²; tabel mempertahankan angka sebagaimana tercantum dalam dokumen. Temuan paling konkret terdapat pada sistem pipa steam. Pemeriksaan menunjukkan bahwa 13 dari 48 pipa mengalami kebocoran, atau sekitar 27,08% dari keseluruhan pipa yang diperiksa. Persentase tersebut menunjukkan bahwa lebih dari seperempat pipa steam mengalami gangguan. Kebocoran menyebabkan sebagian steam keluar sebelum mencapai fuel oil heater sehingga tekanan dan energi panas yang tersedia untuk pemanasan MFO berkurang. Penelitian menyebut kondisi ini sebagai salah satu penyebab utama penurunan kinerja Auxiliary Boiler. Secara sederhana, data tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.

Tabel 3. Analisis Kebocoran Pipa Steam.

Kondisi Pipa	Jumlah	Persentase	Kondisi
Pipa normal	35	72,92%	Berfungsi
Pipa bocor	13	27,08%	Tidak normal
Total	48	100%	Keseluruhan pipa

Berdasarkan perhitungan tersebut, tingkat kerusakan sebesar 27,08% merupakan temuan yang cukup signifikan dalam konteks operasional boiler. Kebocoran tidak hanya menjadi masalah pada komponen perpipaan, tetapi juga menimbulkan rangkaian dampak pada sistem. Kehilangan steam menyebabkan tekanan turun, tekanan yang rendah mengurangi kemampuan fuel oil heater memanaskan MFO, temperatur MFO tidak mencapai kondisi yang diperlukan, dan selanjutnya proses atomisasi bahan bakar menjadi kurang baik.

Kualitas MFO sebagai bagian dari permasalahan

Penelitian juga menemukan bahwa kondisi MFO yang digunakan tidak seluruhnya berada dalam parameter yang direkomendasikan. Beberapa parameter masih berada dalam rentang yang dapat diterima, sedangkan parameter lainnya menunjukkan penyimpangan.

Tabel 4. Data Kualitas MFO MV. Kaysan.

Parameter	Standar MFO	Hasil Pengamatan	Analisis
Viskositas	180–380 cSt	350 cSt	Masih dalam rentang, tetapi membutuhkan pemanasan optimal
Water Content	≤ 0,5%	0,7%	Melebihi standar
Sedimen	≤ 0,10%	0,15%	Melebihi standar
Ash Content	≤ 0,15%	0,18%	Melebihi standar
Carbon Residue	≤ 18%	19%	Melebihi standar
Sulfur Content	≤ 0,50%	0,48%	Masih dalam batas standar

Sumber: data kualitas MFO dalam dokumen penelitian.

Data tersebut memperlihatkan bahwa water content, sedimen, ash content, dan carbon residue berada di atas nilai yang dicantumkan sebagai standar dalam penelitian. Water content tercatat 0,7%, sedangkan batas yang digunakan adalah 0,5%. Dengan demikian terdapat selisih

0,2 poin persentase atau sekitar 40% lebih tinggi daripada batas tersebut. Sedimen tercatat 0,15%, dibandingkan batas 0,10%, sehingga terdapat kelebihan 0,05 poin persentase. Ash content mencapai 0,18% dibandingkan batas 0,15%, sedangkan carbon residue mencapai 19% dibandingkan batas 18%. Viskositas sebesar 350 cSt masih berada dalam rentang 180–380 cSt yang dicantumkan dalam penelitian. Namun, posisi nilai tersebut yang relatif tinggi membuat proses pemanasan tetap penting. Dalam kondisi boiler normal, pemanasan dapat menjaga bahan bakar agar mempunyai karakteristik aliran dan atomisasi yang sesuai. Ketika kinerja boiler turun dan temperatur pemanasan tidak tercapai, MFO menjadi lebih sulit diatomisasikan. Temuan ini menunjukkan bahwa persoalan penurunan kinerja boiler tidak dapat dipahami hanya dari satu faktor. Kualitas MFO yang kurang baik dapat memperbesar kemungkinan terbentuknya deposit pada burner dan nozzle, sementara gangguan pada boiler menyebabkan proses pemanasan bahan bakar tidak optimal. Dengan demikian, terdapat hubungan timbal balik antara kondisi bahan bakar dan kondisi sistem pembakaran.

Deposit karbon pada burner dan nozzle

Faktor berikutnya adalah penumpukan deposit karbon pada burner dan nozzle. Hasil pemeriksaan menunjukkan adanya deposit karbon yang menghambat proses atomisasi. Nozzle yang seharusnya menghasilkan penyemprotan bahan bakar dalam bentuk butiran halus tidak dapat bekerja secara optimal ketika saluran atau permukaannya tertutup deposit. Kondisi tersebut menyebabkan ukuran butiran bahan bakar menjadi lebih besar dan distribusinya tidak merata. Pencampuran bahan bakar dengan udara kemudian menjadi kurang sempurna. Akibat langsung yang ditemukan adalah nyala api menjadi tidak stabil, temperatur ruang bakar menurun, dan jumlah steam yang dihasilkan ikut berkurang. Hubungan antarvariabel tersebut dapat dipahami melalui rangkaian proses: deposit karbon → atomisasi terganggu → pencampuran bahan bakar dan udara tidak optimal → pembakaran menurun → panas yang dihasilkan berkurang → produksi steam menurun. Oleh karena itu, kebersihan burner dan nozzle menjadi bagian penting dalam mempertahankan performa Auxiliary Boiler.

Gangguan pada furnace

Penelitian juga menemukan adanya genangan air pada ruang furnace. Kondisi ini mengganggu proses penyalaan burner dan menyebabkan pembakaran tidak berlangsung secara optimal. Air dalam furnace dapat mengganggu kestabilan proses pembakaran dan menyebabkan flame failure. Ketika pembakaran tidak berlangsung sempurna, temperatur ruang bakar menjadi lebih rendah sehingga energi panas yang ditransfer untuk menghasilkan steam juga berkurang. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa gangguan Auxiliary Boiler bukan hanya berasal dari jalur steam atau sistem bahan bakar. Kondisi ruang bakar juga mempunyai

pengaruh langsung terhadap kemampuan boiler menghasilkan panas. Furnace harus berada dalam kondisi kering dan bersih agar proses pembakaran berlangsung secara stabil.

Kualitas feed water

Faktor lain yang ditemukan adalah kualitas feed water yang kurang baik. Dokumen penelitian memperlihatkan beberapa parameter yang dapat menyebabkan gangguan pada boiler apabila berada di luar kondisi yang dipersyaratkan.

Tabel 5. Analisis Kualitas Feed Water.

Parameter	Kondisi Normal	Kondisi Tidak Normal	Dampak
pH air boiler	8,5–10,5	pH terlalu rendah	Korosi pipa dan komponen
TDS	≤3.500 ppm	Terlalu tinggi	Pembentukan kerak
Hardness	Mendekati 0 ppm	Ca dan Mg tinggi	Deposit dan kerak
Oksigen terlarut	Sangat rendah	Tinggi	Korosi
Silika	Sesuai standar pabrik	Berlebih	Kerak keras
Oil content	0 ppm	Tercampur minyak	Perpindahan panas menurun
Alkalinitas	Sesuai standar	Terlalu tinggi	Foaming dan carry over

Sumber: hasil penelitian dalam dokumen.

Feed water yang tidak memenuhi kondisi yang diperlukan dapat menyebabkan pembentukan kerak pada permukaan pipa boiler. Kerak tersebut menjadi hambatan dalam proses perpindahan panas dari gas hasil pembakaran menuju air. Akibatnya, energi yang lebih besar diperlukan untuk menghasilkan steam dalam jumlah yang sama. Kondisi ini pada akhirnya dapat menurunkan efisiensi pembentukan steam.

Kurang optimalnya Planned Maintenance System

Hasil wawancara juga menunjukkan bahwa beberapa kegiatan perawatan belum sepenuhnya dilaksanakan sesuai jadwal PMS. Kegiatan yang disebut antara lain pembersihan burner, pemeriksaan steam line, serta pengujian kualitas air boiler. Kondisi ini menyebabkan beberapa gangguan berkembang hingga mempengaruhi performa boiler. Dari sudut pandang manajemen pemeliharaan, temuan tersebut menunjukkan bahwa masalah teknis memiliki kaitan dengan aspek preventive maintenance. Kerusakan pipa, deposit pada burner, kualitas air, dan kondisi furnace seharusnya dapat dipantau melalui pemeriksaan berkala. Apabila inspeksi dan pembersihan dilakukan secara konsisten, indikasi awal gangguan dapat diketahui sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar.

Dampak penurunan kinerja boiler terhadap MFO

Hasil penelitian memperlihatkan adanya hubungan sebab-akibat yang jelas antara penurunan kinerja Auxiliary Boiler dan kondisi pemanasan MFO. Dalam kondisi normal, steam yang dihasilkan boiler digunakan untuk membantu mempertahankan temperatur MFO sekitar 90–100°C. Ketika tekanan steam menurun, kemampuan fuel oil heater untuk

mentransfer panas kepada MFO ikut berkurang. Temperatur bahan bakar kemudian turun hingga sekitar 50–70°C pada kondisi gangguan. Penurunan temperatur menyebabkan viskositas MFO meningkat. Bahan bakar yang lebih kental lebih sulit dialirkan dan diatomisasikan melalui fuel injector. Akibatnya, butiran bahan bakar menjadi kurang ideal dan pencampuran dengan udara menjadi tidak merata. Kondisi tersebut berakhir pada pembakaran yang kurang sempurna.

Tabel 6. Rangkaian Dampak Penurunan Kinerja Auxiliary Boiler.

Tahap	Kondisi yang Terjadi	Dampak Berikutnya
Penurunan kinerja boiler	Tekanan steam turun	Energi panas ke heater berkurang
Pemanasan MFO terganggu	Temperatur sekitar 50–70°C	Temperatur di bawah kondisi normal
Temperatur rendah	Viskositas meningkat	MFO lebih sulit dialirkan
Viskositas meningkat	Atomisasi terganggu	Droplet bahan bakar lebih besar
Atomisasi buruk	Campuran udara-bahan bakar tidak optimal	Pembakaran tidak sempurna
Pembakaran tidak sempurna	Asap hitam meningkat	Efisiensi pembakaran menurun
Efisiensi menurun	Konsumsi bahan bakar meningkat	Efisiensi operasional kapal turun

Rangkaian tersebut merupakan temuan utama penelitian dan sekaligus memperlihatkan bahwa Auxiliary Boiler mempunyai posisi penting dalam sistem pengelolaan bahan bakar kapal. Penurunan kinerja boiler tidak berhenti pada turunnya produksi steam, tetapi diteruskan menjadi gangguan pada kualitas pemanasan bahan bakar dan proses pembakaran mesin.

Analisis hubungan faktor penyebab dan dampak

Jika seluruh hasil penelitian disatukan, penurunan kinerja Auxiliary Boiler di MV. Kaysan dapat dipahami sebagai persoalan sistemik. Kebocoran pipa steam secara langsung menyebabkan kehilangan tekanan. Deposit karbon pada burner dan nozzle menghambat pembakaran. Genangan air pada furnace mengganggu penyalaan. Feed water yang tidak memenuhi kondisi yang diperlukan memicu korosi dan pembentukan kerak. Sementara itu, PMS yang belum optimal membuat beberapa kondisi tersebut tidak tertangani secara preventif.

Tabel 7. Sintesis Hasil Penelitian.

Faktor Penyebab	Bukti Data/Temuan	Mekanisme Gangguan	Dampak Akhir
Kebocoran steam	pipa 13 dari 48 pipa atau 27,08%	Steam hilang sebelum mencapai heater	Tekanan steam turun
Deposit karbon burner/nozzle	Deposit terlihat pada nozzle	Atomisasi dan pembakaran terganggu	Produksi steam turun
Air pada furnace	Ditemukan genangan air	Penyalaan burner terganggu	Pembakaran tidak optimal
Feed water sesuai	tidak pH, TDS, hardness, silika, oksigen, oil content, alkalinitas bermasalah	Korosi dan kerak	Perpindahan panas menurun
PMS belum optimal	Beberapa perawatan tidak sesuai jadwal	Gangguan tidak terdeteksi dini	Kerusakan berkembang
Kualitas MFO	Water content, sedimen, ash, carbon residue di atas nilai acuan	Deposit dan pembakaran kurang optimal	Kinerja boiler menurun

Temuan tersebut juga diperkuat oleh wawancara dengan Chief Engineer, Masinis II, dan Masinis III. Chief Engineer menyebut kebocoran pipa steam, penumpukan karbon pada burner dan nozzle, serta kualitas feed water sebagai faktor utama. Masinis II menjelaskan bahwa deposit karbon menyebabkan atomisasi tidak sempurna dan panas yang dihasilkan menurun. Masinis III menjelaskan bahwa feed water yang buruk dapat membentuk kerak sehingga perpindahan panas tidak maksimal.

Upaya perawatan dan perbaikan

Penelitian menunjukkan bahwa tindakan perbaikan diarahkan pada komponen yang menjadi sumber gangguan. Pipa steam yang mengalami kebocoran diperbaiki atau diganti untuk mengurangi kehilangan tekanan. Burner dan nozzle dibersihkan dari deposit karbon menggunakan cleaning tools sehingga proses atomisasi dapat kembali normal. Water treatment dilaksanakan untuk menjaga kualitas feed water dan mencegah terbentuknya kerak. Selain itu, boiler water test dilakukan secara berkala untuk memeriksa pH, alkalinitas, dan parameter lain yang berkaitan dengan korosi maupun pembentukan kerak.

Tabel 8. Upaya Perbaikan dan Tujuan.

Tindakan	Masalah yang Ditangani	Tujuan
Perbaikan/penggantian pipa steam	Kebocoran pipa	Memulihkan tekanan steam
Pembersihan burner dan nozzle	Deposit karbon	Memulihkan atomisasi dan pembakaran
Water treatment	Kualitas feed water	Mencegah kerak dan korosi
Boiler water test	Ketidakesuaian kualitas air	Mengetahui kondisi air secara berkala
Penerapan PMS	Perawatan belum optimal	Mencegah gangguan berulang
Pemeriksaan sistem steam dan burner	Potensi kerusakan	Mendeteksi gangguan sejak dini

Berdasarkan keseluruhan data, tindakan perbaikan tidak cukup dilakukan hanya setelah kerusakan terjadi. Pemeliharaan preventif perlu menjadi bagian utama pengelolaan Auxiliary Boiler. Pemeriksaan tekanan steam, temperatur MFO, kondisi burner dan nozzle, pipa steam, furnace, serta kualitas feed water perlu dilakukan secara terjadwal. Dengan pendekatan tersebut, gangguan dapat diketahui lebih awal sebelum mempengaruhi kualitas pemanasan MFO.

Interpretasi keseluruhan hasil penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kinerja Auxiliary Boiler di MV. Kaysan merupakan hasil interaksi beberapa faktor teknis dan pemeliharaan. Data paling kuat terlihat dari adanya 13 pipa steam yang bocor dari total 48 pipa, penurunan temperatur MFO dari kondisi normal 90–100°C menjadi sekitar 50–70°C, serta ditemukannya deposit karbon pada nozzle burner. Kondisi tersebut berjalan searah dengan perubahan kualitas

pembakaran yang ditandai dengan meningkatnya asap hitam dan konsumsi bahan bakar. Di sisi bahan bakar, viskositas 350 cSt masih berada dalam rentang yang dicantumkan, tetapi pemanasan tetap diperlukan agar bahan bakar dapat mencapai kondisi pembakaran yang sesuai. Sementara itu, water content sebesar 0,7%, sedimen 0,15%, ash content 0,18%, dan carbon residue 19% berada di atas nilai acuan yang digunakan penelitian. Kondisi ini berpotensi memperbesar pembentukan deposit pada burner dan nozzle serta memperburuk proses pembakaran. Dengan demikian, hasil penelitian tidak menunjukkan bahwa kualitas MFO semata-mata menjadi satu-satunya penyebab penurunan kinerja boiler. Data justru menunjukkan adanya hubungan dua arah antara kualitas bahan bakar dan kondisi Auxiliary Boiler. MFO dengan kandungan air, sedimen, abu, dan residu karbon yang lebih tinggi dapat memperbesar risiko deposit dan gangguan pembakaran. Sebaliknya, Auxiliary Boiler yang tidak mampu menyediakan steam dengan tekanan dan temperatur memadai menyebabkan proses pemanasan MFO tidak optimal. Kondisi tersebut meningkatkan viskositas dan mengganggu atomisasi bahan bakar. Hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa pemulihan kinerja Auxiliary Boiler membutuhkan pendekatan terpadu melalui perbaikan pipa steam, pembersihan burner dan nozzle, pengendalian kualitas feed water, boiler water test, pengelolaan bahan bakar, serta pelaksanaan PMS secara konsisten.

Penelitian menyimpulkan bahwa apabila tindakan tersebut dilakukan secara berkelanjutan, kestabilan produksi steam dapat dipertahankan, temperatur MFO dapat dijaga pada kondisi yang dibutuhkan, proses atomisasi menjadi lebih baik, dan kualitas pembakaran dapat ditingkatkan. Perlu dicatat bahwa penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan tidak melakukan pengujian laboratorium MFO secara mendalam maupun analisis statistik kuantitatif. Karena itu, angka-angka pada tabel digunakan untuk memperkuat deskripsi kondisi lapangan, bukan untuk membangun hubungan kausal secara statistik. Dokumen sendiri membatasi kualitas bahan bakar terutama pada kemampuan sistem pemanasan boiler menjaga MFO dalam kondisi operasional yang sesuai. Secara substantif, penelitian berhasil menunjukkan bahwa Auxiliary Boiler merupakan bagian penting dari rangkaian sistem pembakaran kapal. Gangguan pada boiler menghasilkan efek berantai mulai dari penurunan tekanan steam, kegagalan mencapai temperatur pemanasan MFO, peningkatan viskositas, penurunan kualitas atomisasi, pembakaran yang tidak sempurna, peningkatan asap hitam dan konsumsi bahan bakar, hingga penurunan efisiensi operasional kapal. Temuan ini menjadi dasar bahwa pengelolaan Auxiliary Boiler harus dilakukan secara preventif dan terintegrasi dengan pengawasan kualitas bahan bakar serta kualitas feed water.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penurunan kinerja Auxiliary Boiler terhadap kualitas Marine Fuel Oil (MFO) di kapal MV. Kaysan, dapat disimpulkan bahwa gangguan kinerja boiler dipengaruhi oleh beberapa kondisi teknis dan perawatan, terutama kebocoran pipa steam, penumpukan karbon pada burner dan nozzle, gangguan furnace, kualitas feed water yang kurang baik, serta pelaksanaan Planned Maintenance System (PMS) yang belum optimal. Kondisi tersebut menyebabkan tekanan steam menurun sehingga proses pemanasan MFO tidak mampu mencapai temperatur operasional yang dibutuhkan. Penurunan temperatur pemanasan menyebabkan viskositas MFO meningkat dan proses atomisasi menjadi kurang sempurna. Akibatnya, pencampuran bahan bakar dengan udara tidak berlangsung secara optimal sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna, ditandai dengan munculnya asap hitam, meningkatnya konsumsi bahan bakar, menurunnya efisiensi mesin, dan bertambahnya emisi gas buang. Pemulihan kinerja boiler dapat dilakukan melalui perbaikan atau penggantian pipa steam yang bocor, pembersihan burner dan nozzle, penerapan water treatment, pengujian kualitas air boiler secara berkala, serta pelaksanaan PMS secara konsisten. Langkah tersebut diperlukan untuk menjaga kestabilan steam, kualitas pemanasan MFO, efisiensi pembakaran, dan keandalan operasional kapal.

DAFTAR REFERENSI

- Ampah, J. D., Liu, X., Sun, X., Pan, X., Xu, L., Jin, C., Sun, T., Geng, Z., Afrane, S., & Liu, H. (2022). Study on characteristics of marine heavy fuel oil and low carbon alcohol blended fuels at different temperatures. *Fuel*, 310, 122307. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122307>
- Ansar, A. A., Luasunaung, A., Sumilat, D. A., Pamikiran, R. D. C., Kaparang, F. E., & Onibala, H. (2023). Study of planned maintenance system Senior Admiral John Lie's training ship on shipping safety. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(2), 377–389. <https://doi.org/10.35800/jip.v11i2.48973>
- Bicen, S., & Celik, M. (2023). A RAM extension to enhance ship planned maintenance system. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 15(3), 357–376. <https://doi.org/10.1080/18366503.2022.2075575>
- Bimantara, R., Laju, I. K., & Damanik, A. (2023). Optimalisasi penerapan PMS (Planned Maintenance System) di atas KM. Tanto Express. *Ship Operation Engineering Proceeding*, 1(1).
- Dewi, A. R. C., & Irwanto, I. (2022). Pemeliharaan auxiliary boiler pada unit HAR listrik 1–4 di PT. Indonesia Power Suralaya PGU. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 1(2), 357–365. <https://doi.org/10.55681/sentri.v1i2.240>
- Dwisaputra, M. A., Simatupang, R. S., Sandi, W. M., Nugroho, A., & Robbi, S. D. (2025). Analisis kinerja pembakaran nozzle burner pada auxiliary boiler di MV. Pan Kristine.

Impression: Jurnal Teknologi Dan Informasi, 4(2), 205–215.
<https://doi.org/10.59086/jti.v4i2.970>

- Gunarti, R., Purnama, H., Arli, B., Prismadana, E. W., Nandli, M. Z., Aditya, M. R., & Kholis, M. (2022). Analisis program boiler water treatment di kapal. *Jurnal 7 Samudra*, 6(1).
<https://doi.org/10.54992/7samudra.v6i1.80>
- Hu, G., Gan, H., Cong, Y., Liu, Y., & Wang, S. (2023). Fault prediction of marine auxiliary boiler based on 1DCNN-LSTM. *Navigation of China*, 46(2), 135–143.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-4653.2023.02.019>
- Karatuğ, Ç., Arslanoğlu, Y., & Soares, C. G. (2023). Review of maintenance strategies for ship machinery systems. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 22(5), 233–247.
<https://doi.org/10.1080/20464177.2023.2180831>
- Laili, Q., Nugroho, A., Robbi, S. D., Kristiyono, A. E., Sianturi, I., & Sutrisno, I. (2026). Evaluation of boiler maintenance using the failure mode and effect analysis approach at KM. Tilongkabila. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 11(1). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v11i1>
- Li, L., Bu, J., Chang, F., He, Q., Ding, A., Chen, L., & Sun, H. (2026). Numerical investigation of macroscopic and microscopic characteristics of an air-assisted spray from a multi-hole nozzle. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fmech.2026.1740194>
- Purnama, M. I., Saifudin, I., Wanto, K., Jamaan, A., & Rakka, S. G. A. (2025). Analisis terjadinya flame failure pada burner auxiliary boiler di kapal MV. Sky Free. *Journal of Marine Engineering Research*, 1(1), 60–70.
- Rostami, E., & Moghaddam, H. M. (2021). Experimental comparison of the spray atomization of heavy and light fuel oil at different temperatures and pressures for pressure-swirl injector. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 235(7).
- Santosa, P. S., Astriawati, N., Salim, S., & Prasajo, I. A. (2022). Optimalisasi perawatan sistem auxiliary boiler dalam menghasilkan uap panas. *Dinamika Bahari*, 3(2), 69–77.
<https://doi.org/10.46484/db.v3i2.312>
- Soltanloo, M., Babaee, M. H., Hosseini Yeganeh, S. E., Shafiei, A., & Akbari, A. H. (2022). Root cause failure investigation of a boiler waterwall tube employed in a 325 MW thermal power plant: Caustic corrosion phenomenon and its effects. *Engineering Failure Analysis*, 133, 105974. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105974>
- Su, P., Zhang, H., Peng, L., Zhu, L., Li, T., Tang, X., & Zhu, Y. (2024). Particulate matter (PM) and parent, nitrated and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) emissions of emulsified heavy fuel oil in marine low-speed main engine. *Toxics*, 12(6), 404. <https://doi.org/10.3390/toxics12060404>
- Wicaksono, B. A., Sukur, S., Apriani, D. D., & Adnan, A. (2025). Perawatan kondensor air tawar terhadap kinerja auxiliary boiler di atas kapal MV. Tanto Sentosa. *Hengkara Majaya*, 6(2), 21–26. <https://doi.org/10.61759/hmj.v6i2.112>
- Wu, G., Ma, Q., Wei, L., Jiang, G., Wang, T., & Li, T. (2024). Characteristics of particulate matter emissions for low-sulfur heavy oil used in low-speed two-stroke diesel engines of ocean-going ships. *Journal of Thermal Science*, 33, 739–750.
<https://doi.org/10.1007/s11630-024-1870-y>

- Zhang, P., Gao, Z., Cao, L., Dong, F., Zou, Y., Wang, K., Zhang, Y., & Sun, P. (2022). Marine systems and equipment prognostics and health management: A systematic review from health condition monitoring to maintenance strategy. *Machines*, 10(2), 72. <https://doi.org/10.3390/machines10020072>
- Zhou, S., Sun, A., Lou, C., Zhou, P., Xi, H., Shreka, M., Wang, H., Zhu, Y., & Feng, Y. (2024). Gaseous and particulate pollutant emissions from ocean-going tankers in the context of carbon reduction: Main engine, auxiliary engine, and auxiliary boiler. *Energy*, 313, 133831. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133831>