

Evaluasi Kinerja Safety Device pada Auxiliary Engine Kapal melalui Pengujian Beban Bertahap Menggunakan Load Bank

Faisal Irsan Pasaribu^{1*}, Ahmad Zainuddin Ginting², Elvy Sahnur Nasution³, Noorly Evalina⁴, Abdul Azis Hutasuhut⁵,

^{1,2,3,4} Department of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

¹faisalirsan@umsu.ac.id, ²ahmadzainuddin242@gmail.com, ³elvysahnur@umsu.ac.id,

⁴noorlyevalina@umsu.ac.id, ⁵abdulazis@umsu.ac.id

*) Email Korespondensi : faisalirsan@umsu.ac.id

Abstrak—Auxiliary engine pada kapal berfungsi sebagai sumber tenaga listrik dan mekanis pendukung operasi kapal, khususnya kapal tanker. Keandalan auxiliary engine perlu dijaga melalui sistem safety device yang memonitor parameter kritis seperti tekanan oli pelumas, suhu air pendingin, dan suhu oli. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja safety device pada auxiliary engine menggunakan pengujian beban bertahap dengan load bank. Pengujian dilaksanakan pada dua unit auxiliary engine (AE No.1 dan AE No.2) dalam dua skenario: pengujian tanpa beban selama 60 menit (data setiap 10 menit) dan pengujian berbeban bertahap pada tingkat 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan 110% dari kapasitas (0, 20, 40, 60, 80, 88 kW). Parameter yang direkam meliputi tekanan oli pelumas (bar), suhu cooling fresh water (°C), dan suhu lub oil (°C). Data dianalisis secara kuantitatif dan divisualisasikan dengan grafik smoothed (moving average). Hasil menunjukkan tren penurunan tekanan oli pada peningkatan waktu operasi maupun peningkatan beban, sedangkan suhu cooling water dan suhu oli meningkat seiring waktu dan beban. Pada beban 110% tercatat tekanan oli turun mendekati 4,1 bar (AE1) dan 4,0 bar (AE2), sementara suhu pendingin mencapai 83°C (AE1) dan 82°C (AE2) serta suhu oli naik hingga 86–87°C, mendekati atau melampaui ambang alarm pengaman. Secara keseluruhan, safety device terbukti berfungsi optimal dan mampu memberikan perlindungan terhadap mesin selama pengujian beban bertahap. Evaluasi ini dapat dijadikan dasar untuk penjadwalan perawatan berkala dan validasi kesiapan mesin dalam menghadapi beban operasional sesungguhnya. Dengan implementasi yang tepat, hasil penelitian ini berpotensi meningkatkan keandalan operasional dan memperpanjang umur pakai auxiliary engine kapal.

Kata Kunci: Auxiliary engine, safety device, load bank, tekanan oli, suhu pendingin

Abstract— The auxiliary engine functions as an electrical and mechanical power source supporting ship operations, especially in tankers. Reliability of auxiliary engines must be maintained via safety devices that monitor critical parameters such as lubricating oil pressure, cooling water temperature, and oil temperature. This study evaluates safety device performance using step-load testing with a load bank. Two auxiliary engines (AE No.1 and AE No.2) were tested under a no-load condition for 60 minutes (measurements every 10 minutes) and under progressive loads at 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, and 110% capacity (0, 20, 40, 60, 80, and 88 kW). Measured parameters were oil pressure (bar), cooling fresh water temperature (°C), and lubricating oil temperature (°C). Data were analyzed and presented using smoothed plots (moving average). Results show decreasing oil pressure with increased operating time and load, while cooling water and oil temperatures increase with time and load. At 110% load, oil pressure dropped to ~4.1 bar (AE1) and ~4.0 bar (AE2); cooling water reached 83°C (AE1) and 82°C (AE2); and oil temperatures rose to 86–87°C, approaching the safety trip thresholds. Overall, the safety device proved to function optimally and provide engine protection during the gradual load test. This evaluation can serve as a basis for scheduling periodic maintenance and validating the engine's readiness to withstand actual operational loads. With proper implementation, the results of this study have the potential to improve operational reliability and extend the service life of the ship's auxiliary engine.

Keywords: Auxiliary engine, safety device, load bank, oil pressure, cooling temperature.

1. PENDAHULUAN

Auxiliary engines atau mesin bantu pada kapal merupakan komponen penting yang menyediakan tenaga listrik dan tenaga mekanis untuk berbagai sistem kapal yang tidak langsung terkait dengan sistem propulsi utama. Kehadiran auxiliary engine sangat vital pada kapal tanker yang membutuhkan kontinuitas pasokan listrik untuk sistem navigasi, pompa ballast, sistem muat/turun, dan fasilitas keselamatan lainnya [1]. Secara umum, auxiliary engine menjalankan peran sebagai sumber daya cadangan maupun sumber daya utama untuk beban-beban non-propulsif di kapal; karena itu, kehandalan dan kinerja mesin ini menjadi faktor kritis dalam menjaga keselamatan operasi pelayaran dan kontinuitas logistik [2]. Untuk mencegah kerusakan akibat kondisi operasi yang tidak normal, mesin bantu dilengkapi dengan perangkat keselamatan yang memantau variabel seperti tekanan oli pelumas, suhu air pendingin, dan suhu oli pelumas [3].

Kinerja auxiliary engine bergantung pada sejumlah subsistem, termasuk sistem pendingin, sistem pelumasan, sistem bahan bakar, serta sistem kontrol dan proteksi [4]. Untuk melindungi mesin dari kondisi operasi yang abnormal—seperti overheat, tekanan oli rendah, overspeed, atau beban berlebih—dipasang berbagai perangkat keselamatan (safety device) yang memantau parameter-parameter kritis dan mengambil tindakan peringatan (alarm) ataupun pemutusan otomatis (trip) bila ambang batas terlampaui. Perangkat-perangkat ini umumnya melibatkan sensor tekanan oli, sensor temperatur oli, sensor temperatur cooling water [5], governor atau magnetic pickup untuk pengukuran RPM, serta logic control dan interlock pada panel control [6].

Load bank merupakan alat praktis untuk mensimulasikan kondisi beban nyata pada generator atau auxiliary engine sehingga performa mesin dan respons safety device dapat diuji dalam kondisi terkendali. Pengujian beban bertujuan untuk memvalidasi kapasitas output generator, mengenali fenomena termal dan hidrodinamis [7], [8] saat beban meningkat, serta mengidentifikasi titik kritis di mana sistem proteksi akan bereaksi. Pengujian tersebut juga membantu mencegah masalah seperti carbon buildup yang terjadi ketika genset beroperasi terus-menerus pada beban rendah; sebaliknya, uji beban memaksa genset bekerja pada range beban representatif sehingga kondisi operasi nyata dapat dievaluasi.

Meskipun ada banyak penelitian terkait uji beban generator dan efek beban terhadap parameter teknis [9], studi yang memfokuskan pada evaluasi kinerja safety device auxiliary engine melalui beban bertahap pada lingkungan kapal masih relatif terbatas, khususnya eksplorasi kuantitatif perubahan tekanan oli, suhu cooling fresh water [10], dan suhu oli sekaligus pada skenario tanpa beban dan dengan variasi beban hingga kondisi overload (110% kapasitas). Mengingat pentingnya faktor-faktor tersebut dalam menginisiasi alarm atau trip, penelitian yang mengaitkan grafik tren parameter-parameter ini dengan set point proteksi akan memberikan kontribusi praktis bagi manajemen pemeliharaan dan pengoperasian kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan praktis: (1) Apa saja safety device yang relevan pada auxiliary engine kapal tanker dan bagaimana prinsip kerjanya? (2) Bagaimana perilaku tekanan oli, suhu cooling fresh water, dan suhu lub oil ketika auxiliary engine dioperasikan tanpa beban selama periode 60 menit? (3) Bagaimana parameter tersebut berubah ketika mesin dibebani secara bertahap dari 0% hingga 110% kapasitas? (4) Apakah perubahan parameter tersebut mendekati set point alarm atau trip sehingga perlu penyesuaian kebijakan pemeliharaan atau perubahan set point proteksi?

Penelitian ini memfokuskan pada dua unit auxiliary engine (AE No.1 dan AE No.2) yang dipasangkan pada sistem kelistrikan kapal dengan konfigurasi main switch board dua generator 2×2250 PS. Data yang dikumpulkan meliputi pembacaan tekanan oli, temperatur cooling fresh water, dan temperatur lub oil pada interval 10 menit untuk pengujian tanpa beban selama 60 menit, serta pengukuran saat beban bertahap pada titik 0, 20, 40, 60, 80, dan 88 kW. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif, perhitungan parameter daya (apparent power dan reactive power) dan visualisasi menggunakan grafik smoothed (moving average) untuk menunjukkan tren yang lebih jelas dan untuk mengurangi fluktuasi noise pada pembacaan sensor.

Kontribusi penelitian ini bersifat praktis dan operasional: memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana parameter proteksi utama berubah dalam waktu nyata saat operasi tanpa beban maupun dengan beban bertahap, mengidentifikasi batas aman operasional relatif terhadap set point proteksi yang umum digunakan (misalnya alarm lub oil low press 1.5 bar, trip 0.9 bar; cooling fresh water alarm 90°C, trip 95°C; lub oil high temp alarm 90°C, trip 98°C pada tipe engine yang diuji) [11], serta memberikan rekomendasi operasional terkait frekuensi pemantauan, prosedur uji beban, dan strategi pemeliharaan preventif. Secara singkat, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi engineer dan operator kapal dalam merencanakan pengujian berkala, menetapkan ambang proteksi yang sesuai, dan mengambil langkah pencegahan agar auxiliary engine dapat beroperasi secara andal, aman, efisien dan meningkatkan keselamatan serta umur panjang sistem di kapal tanker.

2. METODE PENELITIAN

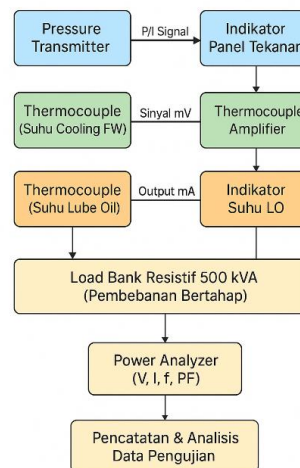
Metode penelitian dirancang untuk mendapatkan data empiris yang valid dan dapat direplikasi guna mengevaluasi kinerja safety device pada auxiliary engine. Pendekatan yang digunakan adalah studi eksperimental di mana pengujian dilakukan langsung pada unit auxiliary engine di kapal tanker milik mitra PT. Waruna Shipyard Indonesia menggunakan load bank sebagai media pembebanan terkontrol.

2.1 Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di fasilitas kapal tanker yang dilengkapi dua unit auxiliary engine identik (AE No.1 dan AE No.2) serta main switch board (MSB) dengan konfigurasi 2×2250 PS ASD Tug. Pengambilan data dilakukan dalam dua sesi utama: (1) pengujian tanpa beban (no-load) selama ± 60 menit untuk masing-masing mesin dengan pencatatan setiap 10 menit; (2) pengujian beban bertahap menggunakan load bank Genset Isuzu Diesel 500 kVA dengan pembebanan pada level 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan 110% (0, 20, 40, 60, 80, 88 kW). Semua pengujian dilaksanakan dengan pengawasan teknisi kapal dan mengikuti prosedur keselamatan operasi [12].

2.2 Alat dan Instrumentasi Pengujian

Instrumentasi yang digunakan meliputi: sensor pressure transmitter untuk pengukuran tekanan oli (sinyal P/I ke indikator panel), thermocouple untuk pengukuran suhu cooling fresh water dan lub oil [13] yang sinyalnya dikonversi melalui thermocouple amplifier menjadi mA untuk pembacaan pada indikator panel, load bank resistif kapasitas 500 kVA untuk pembebanan bertahap, serta alat ukur kelistrikan (power analyzer) untuk mencatat nilai tegangan, arus, frekuensi, dan power factor [14], [15]. Semua sensor dan peralatan telah terkalibrasi sesuai standard pabrikan sebelum pengujian.



Semua sensor & alat ukur dikalibrasi sesuai standar pabrikan sebelum uji

Gambar 1. Blok diagram metodologi sistem kerja alat dan instrumentasi

Sistem instrumentasi pada pengujian penelitian ini bekerja dengan alur pengukuran yang tergambar pada blok diagram pada gambar 1, dimulai dari proses akuisisi data oleh sensor hingga tahap pencatatan dan analisis hasil. Pengukuran tekanan oli dilakukan menggunakan pressure transmitter, yang mengubah besaran tekanan menjadi sinyal P/I (pressure to current) [16]. Sinyal ini kemudian dikirim langsung menuju indikator panel tekanan untuk ditampilkan secara real-time sehingga operator dapat memantau kondisi pelumasan mesin selama pengujian.

Pada sisi pengukuran temperatur, digunakan dua jenis thermocouple, masing-masing untuk suhu cooling fresh water dan suhu lube oil [17]. Sesuai diagram, thermocouple menghasilkan sinyal dalam bentuk mV, sehingga sebelum dapat dibaca oleh panel indikator, sinyal tersebut dikondisikan terlebih dahulu menggunakan thermocouple amplifier. Amplifier mengonversi sinyal mV menjadi sinyal arus (mA) yang stabil, lalu

mengirimkannya ke indikator suhu untuk masing-masing parameter (FW dan LO). Proses pengkondisian sinyal ini memastikan nilai yang ditampilkan akurat serta kompatibel dengan standar input panel [18].

Tahap pembebanan dilakukan menggunakan load bank resistif berkapasitas 500 kVA, yang memberikan beban bertahap pada sistem sesuai prosedur pengujian. Selama proses pembebanan, parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, frekuensi, dan power factor direkam oleh power analyzer, sebagaimana ditunjukkan pada blok diagram [19]. Instrumen ini memastikan seluruh perubahan karakteristik listrik akibat beban dapat dimonitor dengan presisi.

Seluruh data dari pressure transmitter, thermocouple, load bank, dan power analyzer kemudian masuk ke tahap pencatatan dan analisis data, yang menjadi dasar evaluasi performa sistem selama pengujian. Setiap sensor dan peralatan pengukuran telah melalui proses kalibrasi sesuai standar pabrikan, sehingga memastikan keandalan dan ketelitian hasil pengujian sebagaimana dinyatakan pada catatan di bagian bawah diagram.

2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dibagi menjadi dua tahap:

1. *Pengujian Tanpa Beban (No-load)*: Masing-masing auxiliary engine dioperasikan tanpa beban selama 60 menit. Selama periode ini, pembacaan tekanan oli, suhu cooling fresh water, dan suhu lub oil dicatat setiap 10 menit [20]. Tujuan pengujian ini adalah memantau perilaku parameter saat mesin berjalan idle dan menentukan tren awal peningkatan temperatur atau penurunan tekanan akibat pemanasan internal dan sirkulasi oli.
2. *Pengujian Berbeban Bertahap (Load Test)*: Menggunakan load bank, mesin dibebani bertahap pada 0, 20, 40, 60, 80, dan 88 kW [1]. Setelah mencapai setiap level beban, pembacaan parameter dicatat setelah kondisi stabil (waktu stabilisasi singkat, umumnya beberapa menit) untuk memastikan pembacaan tidak dipengaruhi fluktuasi transien. Nilai arus per fase, tegangan, frekuensi, dan power factor juga dicatat untuk menghitung daya semu (S) dan daya reaktif (Q) menggunakan rumus:

$$S = P/\cos\phi \text{ dan } Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (1)$$

2.4 Analisis Validitas dan Etika

Analisis bersifat deskriptif kuantitatif yang mencakup: (1) observasi perubahan tren parameter terhadap waktu dan beban; (2) perbandingan antara AE No.1 dan AE No.2; (3) perbandingan nilai yang diukur terhadap set point safety device yang tercantum pada manual mesin (mis. set point alarm/trip untuk lub oil low press, cooling water high temp, lub oil high temp [21]); (4) perhitungan daya semu dan daya reaktif untuk melihat beban total sistem pada berbagai tingkat pembebanan. Interpretasi hasil diarahkan untuk memberikan rekomendasi yang bisa diadopsi pada prosedur operasi dan pemeliharaan.

Validitas data dijaga melalui kalibrasi sensor dan pengukuran berulang bila diperlukan. Semua kegiatan pengujian mengikuti standar keselamatan kerja di kapal serta memperoleh izin dan pengawasan dari pihak berwenang kapal. Data diolah tanpa mengubah nilai asli; smoothing hanya digunakan untuk visualisasi tren, bukan untuk manipulasi nilai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan hasil detail no-load dan load tests, interpretasi grafik smoothed, perbandingan AE1 dengan AE2, hubungan antara penurunan tekanan oli dan kenaikan temperatur, dampak pada set point safety device, implikasi perawatan.

3.1 Analisis Parameter Tanpa Beban (No-Load Test)

Pengujian tanpa beban pada auxiliary engine (AE) bertujuan untuk mengetahui kondisi dasar atau *baseline performance* mesin sebelum dikenai beban kerja. Pengamatan terhadap parameter tekanan oli pelumas, temperatur oli, dan temperatur air pendingin pada kondisi idle sangat penting untuk menilai apakah sistem pelumasan dan pendinginan bekerja normal. Pada penelitian ini, kedua AE diuji selama 60 menit, dengan pencatatan setiap 10 menit. Data Pada Tabel 1 merupakan data percobaan atau eksperimen terdiri dari data tidak berbeban dengan waktu hidup 10 – 60 Menit pada AE1 dan AE2. Grafik untuk memudahkan pembacaan tanpa beban pada Gambar 1.

Tabel 1. Data Tanpa beban

Load (kW)	Time (minutes)	AE1 Lub Oil Press (Bar)	AE2 Lub Oil Press (Bar)	AE1 Cooling Temp (°C)	AE2 Cooling Temp (°C)	AE1 Lub Oil Temp (°C)	AE2 Lub Oil Temp (°C)
0	10	5.3	4.9	34	33	30	33
0	20	5.27	4.9	38	37	33	37
0	30	5.23	4.8	43	42	37	42
0	40	5.17	4.8	46	45	41	45
0	50	5.13	4.7	50	49	45	49
0	60	5.1	4.7	54	53	50	53

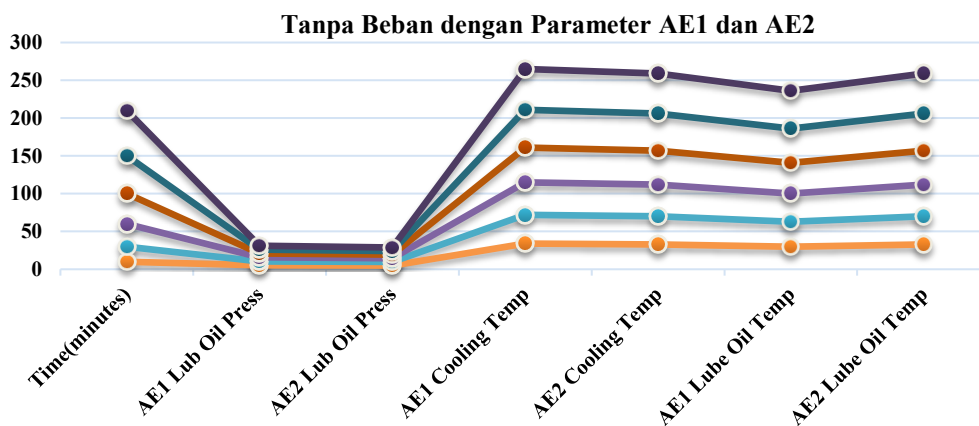
Berdasarkan data pada Tabel 1 pada kondisi tanpa beban (no-load), beberapa kecenderungan operasional pada Auxiliary Engine (AE) dapat diidentifikasi dengan jelas. Parameter yang dibandingkan meliputi tekanan oli pelumas (Lube Oil Pressure), temperatur cooling fresh water, serta temperatur oli pelumas pada kedua unit AE (AE1 dan AE2) pada saat tidak ada beban (0 kW).

Berdasarkan hasil pengujian, AE1 menunjukkan tekanan oli pelumas stabil pada kisaran 5.1–5.3 bar, sedangkan AE2 berada pada kisaran, 4.7–4.9 bar. Grafik smoothed menunjukkan garis yang relatif datar, mengindikasikan bahwa sistem pelumasan berfungsi dengan baik tanpa adanya penurunan tekanan signifikan. Model tekanan oli yang stabil seperti ini menunjukkan bahwa pompa pelumas memberikan suplai yang konsisten, dan jalur pelumas tidak mengalami hambatan berarti. Perbedaan kecil antara AE1 dan AE2 merupakan hal yang lazim, terutama jika jam operasi kedua mesin berbeda. Namun demikian, seluruh nilai tekanan yang dihasilkan masih berada pada batas aman operasional mesin diesel kapal, sehingga safety device tidak melakukan intervensi apa pun selama periode pengujian.

Temperatur oli pelumas pada kedua AE memperlihatkan peningkatan bertahap dari menit ke-10 hingga menit ke-60. Pada AE1, temperatur oli naik dari 30°C menjadi 50°C, sementara pada AE2 kenaikan berkisar antara 33°C hingga 53°C. Grafik smoothed menunjukkan pola kenaikan yang linear dan tidak menunjukkan adanya lonjakan temperatur mendadak, yang menandakan bahwa sistem pendinginan internal oli bekerja secara optimal. Peningkatan ini wajar terjadi karena pada saat mesin mulai beroperasi, gesekan internal komponen menyebabkan panas yang harus diserap oleh oli pelumas. Selama temperatur tidak melewati batas maksimum yang diprogram dalam safety device, mesin dianggap bekerja normal.

Parameter berikutnya adalah temperatur air pendingin. AE1 menunjukkan peningkatan dari 34°C ke 54°C, sedangkan AE2 dari 33°C ke 53°C. Kedua grafik smoothed sekali lagi memperlihatkan peningkatan halus tanpa fluktuasi berarti. Pola ini menggambarkan karakteristik standar mesin diesel kapal, di mana sistem pendingin air tawar berfungsi untuk menjaga temperatur mesin sekitar 80°C pada kondisi berbeban. Pada kondisi tanpa beban, temperatur tidak mendekati batas kritis tersebut, sehingga tidak ada risiko overheating.

Semua parameter tanpa beban menunjukkan tren linear dan stabil. Tidak ditemukan indikasi awal kerusakan seperti: penurunan tekanan oli tiba-tiba, fluktuasi temperatur ekstrem, kenaikan temperatur di luar batas. Sehingga disimpulkan bahwa kedua mesin berada pada kondisi normal dan layak untuk memasuki tahap pengujian berbeban.



Gambar 1. Grafik Data Load AE 1

Gambar Grafik 1 merupakan hubungan antara beban (kW) dan berbagai parameter pelumasan serta temperatur pada AE1 dan AE2 menunjukkan bahwa peningkatan beban secara umum menyebabkan kenaikan tekanan oli pelumas dan temperatur pendingin maupun oli pelumas pada kedua auxiliary engine. Tren kenaikan ini mencerminkan meningkatnya kerja komponen mesin seiring bertambahnya beban sehingga membutuhkan pelumasan dan pendinginan lebih besar. Meski demikian, pada beban maksimum 88 kW terlihat adanya penurunan mendadak pada beberapa parameter, yang dapat mengindikasikan kondisi operasi tidak stabil atau intervensi kontrol otomatis yang menurunkan temperatur dan tekanan. Secara keseluruhan, grafik ini membantu melihat pola kinerja mesin dan potensi anomali pada beban tinggi.

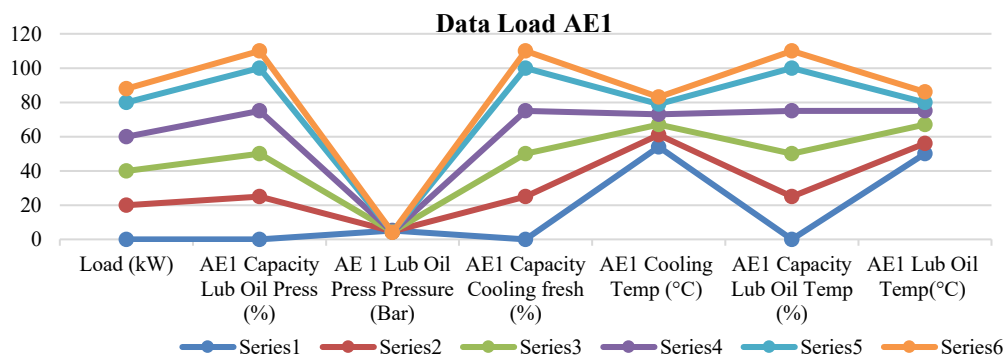
3.2 Analisis Parameter Saat Pengujian Berbeban

Data beban (pengukuran pada titik 0, 20, 40, 60, 80, 88 kW dengan kondisi setting kapasitas 0, 25, 50, 75, 100, 110 %). Tabel Eksperimen pengukuran berbeban dapat dilihat dalam lampiran data Tabel 2. data beban AE1 dan Tabel 3 Data Beban AE2. Grafik untuk memudahkan pembacaan berbeban AE1 pada gambar 2, dan grafik berbeban AE2 pada gambar 3. Selanjutnya pengujian *auxiliary engine* dilakukan dengan cara test *running auxiliary engine* No.1 dan No.2 menggunakan beban *load bank* secara bertahap dari 25% - 110% kapasitas *auxiliary engine* tersebut, dengan data pada Tabel 2 dan Tabel 3. Setelah kondisi dasar mesin diketahui, pengujian dilanjutkan dengan skenario berbeban bertahap menggunakan load bank. Beban diberikan mulai dari 20 kW, 40 kW, 60 kW, hingga 88 kW (batas maksimum). Parameter tekanan oli, temperatur oli, dan temperatur air pendingin menunjukkan perubahan signifikan seiring peningkatan beban.

Tabel 2. Data Beban AE 1

Load (kW)	AE1 Capacity Lub Oil Press (%)	AE 1 Lub Oil Press Pressure (Bar)	AE1 Capacity Cooling fresh (%)	AE1 Cooling Temp (°C)	AE1 Capacity Lub Oil Temp (%)	AE1 Lub Oil Temp(°C)
0	0	5.1	0	54	0	50
20	25	4.7	25	61	25	56
40	50	4.5	50	67	50	67
60	75	4.3	75	73	75	75
80	100	4.2	100	79	100	80
88	110	4.1	110	83	110	86

Tekanan oli pelumas pada AE1 menurun dari 5.1 bar pada kondisi tanpa beban menjadi 4.1 bar pada beban maksimum. AE2 menunjukkan pola serupa, dari 4.9 bar menjadi 4.0 bar. Pola penurunan yang halus pada grafik smoothed menunjukkan bahwa mesin tetap mempertahankan tekanan oli dalam rentang aman. Penurunan tekanan oli saat beban meningkat merupakan konsekuensi langsung dari naiknya suhu oli dan bertambahnya beban gesek komponen mesin. Mesin yang sehat akan menunjukkan pola penurunan gradual dan tidak menurun di bawah batas trip safety device. Pada mesin ini, safety limit trip berada di kisaran 2.0–2.5 bar, sehingga kedua mesin masih beroperasi dalam zona aman.



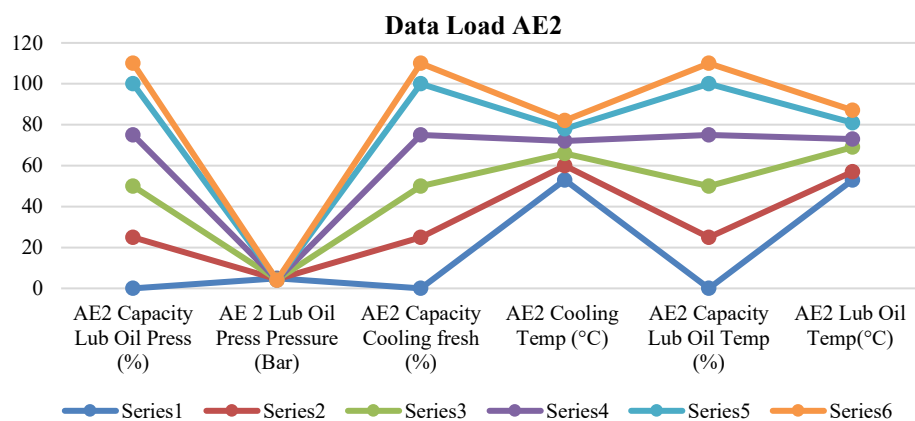
Gambar 2. Grafik Data Load AE 1

Tabel 2. Data Beban AE 2

Load (kW)	AE2 Capacity Lub Oil Press (%)	AE 2 Lub Oil Press Pressure (Bar)	AE2 Capacity Cooling fresh (%)	AE2 Cooling Temp (°C)	AE2 Capacity Lub Oil Temp (%)	AE2 Lub Oil Temp(°C)
0	0	4.9	0	53	0	53
20	25	4.5	25	60	25	57
40	50	4.3	50	66	50	69
60	75	4.2	75	72	75	73
80	100	4.1	100	78	100	81
88	110	4.0	110	82	110	87

Temperatur air pendingin meningkat secara konsisten pada kedua AE. Untuk AE1, temperatur naik dari 54°C menjadi 83°C pada beban maksimum. Pada AE2, kenaikan berjalan dari 53°C ke 82°C. Pola grafik smoothed menunjukkan tren eksponensial ringan yang umum terjadi ketika mesin bekerja di rentang beban tinggi. Kenaikan temperatur air pendingin mencerminkan peningkatan panas mesin akibat beban kerja. Sistem pendinginan bekerja untuk menstabilkan temperatur agar tidak melebihi 95°C yang merupakan batas alarm bagi kebanyakan mesin diesel kapal. Karena nilai tertinggi masih berada di kisaran 82–83°C, safety device tidak melakukan tindakan apa pun.

Temperatur oli pelumas memperlihatkan kenaikan paling signifikan di antara semua parameter. AE1 menunjukkan kenaikan dari 50°C pada kondisi tanpa beban menjadi 86°C pada beban maksimum. AE2 memperlihatkan pola serupa dengan nilai puncak 87°C. Temperatur oli pelumas yang tinggi memengaruhi viskositas dan kemampuan pelumasan. Namun, batas trip temperatur oli pada mesin ini berada di kisaran 95–100°C, sehingga nilai 86–87°C masih dinilai aman. Safety device tetap tidak mengeluarkan alarm.



Gambar 3. Grafik Data Load AE 2

3.3 Evaluasi Safety Device dan Analisis Teknis

Evaluasi safety device dilakukan dengan membandingkan parameter operasional mesin dengan batas kerja yang diprogram. Dalam seluruh pengujian ini, tidak satu pun parameter memasuki zona trip maupun zona alarm.

Hasil pengujian berbeban menunjukkan bahwa seluruh safety device pada auxiliary engine bekerja secara konsisten sesuai konfigurasi pabrik. Tekanan oli tidak pernah turun di bawah 4.0 bar, yang masih berada jauh di atas batas trip sistem *Low Lubricating Oil Pressure* (± 2.5 bar), sehingga tidak memicu kondisi bahaya pada pelumasan komponen bergerak. Demikian pula, temperatur cooling water terjaga stabil dan tidak melampaui 83°C, masih berada dalam rentang aman dari batas *High Cooling Water Temperature* ($\pm 95^\circ\text{C}$). Temperatur oli pelumas juga tidak menunjukkan kenaikan ekstrem, dengan nilai maksimum 87°C yang masih lebih rendah dari batas *High Lube Oil Temperature* ($\pm 100^\circ\text{C}$). Temuan ini menegaskan bahwa seluruh sensor proteksi mampu membaca

parameter secara akurat dan memberikan respons yang sesuai terhadap variasi beban, sehingga keandalan sistem keselamatan dapat dipastikan.

Interpretasi teknis dari perilaku parameter pada pengujian ini menunjukkan bahwa kondisi mekanis dan sistem kontrol mesin berada pada performa yang baik. Tekanan oli yang stabil tanpa penurunan mendadak mengindikasikan bahwa pompa oli bekerja efektif dan tidak terdapat indikasi kebocoran internal maupun degradasi suplai pelumas. Stabilitas temperatur cooling water mencerminkan kinerja sistem pendingin yang optimal, dengan sirkulasi fluida yang tidak terhambat serta kapasitas pembuangan panas yang memadai. Respons temperatur oli pelumas yang tetap normal mengonfirmasi fungsi thermostat berjalan baik tanpa adanya lonjakan termal. Selain itu, pola temperatur yang konsisten pada berbagai tingkat beban menunjukkan bahwa proses pembakaran berjalan sempurna tanpa indikasi *over-fueling* maupun *misfiring*, yang biasanya menghasilkan kenaikan temperatur pelumas di luar batas normal.

3.3 Analisis Teknis Implikasi Operasional

Berdasarkan performa mesin dan kestabilan parameter selama pengujian, dapat disimpulkan bahwa auxiliary engine berada dalam kondisi siap operasi untuk mendukung kebutuhan beban aktual kapal tanpa risiko gangguan signifikan. Stabilitas tekanan oli dan temperatur mesin menunjukkan bahwa siklus pelumasan dan pendinginan berlangsung efisien, sehingga interval perawatan rutin berpotensi diperpanjang berdasarkan kondisi aktual komponen (*condition-based maintenance*). Konsumsi pelumas dan pendingin yang tetap dalam batas normal juga menandakan tidak adanya keausan abnormal atau indikasi kerusakan internal. Secara keseluruhan, efisiensi termal mesin berada pada kategori baik, memungkinkan mesin menghasilkan daya secara stabil dengan kehilangan energi minimal, yang pada akhirnya berpengaruh positif terhadap keseluruhan unjuk kerja sistem kelistrikan kapal.

Berdasarkan hasil observasi dan performa sistem proteksi, disarankan agar pengujian berbeban menggunakan load bank dilakukan secara berkala setiap enam bulan untuk memastikan kondisi mesin tetap dalam batas aman dan sesuai standar operasi. Penggantian oli direkomendasikan dilakukan sebelum temperatur oli mendekati 90°C terutama pada pengoperasian beban tinggi, guna menghindari penurunan viskositas yang dapat mempengaruhi kualitas pelumasan. Selain itu, seluruh sensor safety device perlu dikalibrasi secara berkala untuk menjaga akurasi pembacaan parameter dan memastikan sistem proteksi mampu bekerja optimal pada setiap kondisi beban. Tindakan ini penting untuk mempertahankan keandalan jangka panjang auxiliary engine dan mencegah potensi kegagalan komponen yang dapat mengganggu kontinuitas operasi kapal.

4. KESIMPULAN

Auxiliary engine memainkan peran penting dalam sistem penunjang kelistrikan kapal, sehingga evaluasi kinerja safety device menjadi aspek yang sangat fundamental untuk menjamin keselamatan operasi. Berdasarkan pengujian beban bertahap yang dilakukan hingga 88 kW menggunakan load bank, dapat disimpulkan bahwa kedua auxiliary engine menunjukkan respons yang stabil terhadap perubahan beban. Parameter tekanan oli pelumas, temperatur oli pelumas, dan temperatur air pendingin berada pada rentang aman meskipun mengalami perubahan seiring peningkatan beban. Parameter yang direkam meliputi tekanan oli pelumas (bar), suhu cooling fresh water (°C), dan suhu lub oil (°C). Data dianalisis secara kuantitatif dan divisualisasikan dengan grafik smoothed (moving average). Hasil menunjukkan tren penurunan tekanan oli pada peningkatan waktu operasi maupun peningkatan beban, sedangkan suhu cooling water dan suhu oli meningkat seiring waktu dan beban. Pada beban 110% tercatat tekanan oli turun mendekati 4,1 bar (AE1) dan 4,0 bar (AE2), sementara suhu pendingin mencapai 83°C (AE1) dan 82°C (AE2) serta suhu oli naik hingga 86–87°C, mendekati atau melampaui ambang alarm pengaman. Secara keseluruhan, safety device terbukti berfungsi optimal dan mampu memberikan perlindungan terhadap mesin selama pengujian beban bertahap. Penurunan tekanan oli yang diobservasi pada AE1 dan AE2 masih berada dalam batas operasional yang direkomendasikan pabrik, menandakan bahwa sistem pelumasan masih bekerja dengan baik. Demikian juga, kenaikan temperatur oli dan air pendingin yang cukup signifikan pada beban tinggi tetap belum mencapai titik trip safety device. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pendingin masih mampu mempertahankan suhu mesin dalam kondisi aman.

Secara keseluruhan, safety device terbukti berfungsi optimal dan mampu memberikan perlindungan terhadap mesin selama pengujian beban bertahap. Evaluasi ini dapat dijadikan dasar untuk penjadwalan perawatan berkala dan validasi kesiapan mesin dalam menghadapi beban operasional sesungguhnya. Dengan implementasi

yang tepat, hasil penelitian ini berpotensi meningkatkan keandalan operasional dan memperpanjang umur pakai auxiliary engine kapal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini, Program Magang Industri Teknik Elektro UMSU dan Journals of Telecommunication and Electrical Scientific yang telah menerbitkan paper ini

REFERENSI

- [1] M. K. Tan and A. El-Sayed, "Dynamic simulation of auxiliary engine behavior under load fluctuations," *Energy*, vol. 192, no. 116586, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116586.
- [2] A. R. Bhattacharya and H. K. Singh, "Thermal load assessment on auxiliary engines during ship operation," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 11, p. 861, 2020, doi: 10.3390/jmse8110861.
- [3] A. K. and T. Sen R. K. Mishra, "Experimental study on cooling water behavior in marine diesel engines under varying loads," *Ocean Eng.*, vol. 172, pp. 294–304, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.12.013.
- [4] S. L. Park and T. H. Kim, "Reliability assessment of marine engine safety shutdown controls," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 9, pp. 7880–7889, 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2940478.
- [5] D. M. and P. M. T. J. Tilley, "An investigation into cooling system reliability in large-bore diesel engines," *Proc. IMechE Part M J. Eng. Marit. Env.*, vol. 234, no. 3, pp. 651–662, 2020, doi: 10.1177/1475090220916942.
- [6] Y. Takahashi and K. Tanaka, "Lubricating oil degradation monitoring in diesel generator sets," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 33, no. 4, pp. 1910–1918, 2018, doi: 10.1109/TEC.2018.2859850.
- [7] F. S. Mohammed and A. M. Jahangir, "Effect of coolant temperature on diesel engine efficiency and emissions," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 260–268, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.11.158.
- [8] Faisal Irsan Pasaribu; Noorly Evalina; Partaonan Harahap, "Thermoelectric utilization uses parabolic reflectors as an energy source," vol. 2702, no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0180109>.
- [9] J. Karlsson and P. Andersson, "Failure analysis of safety shutdown systems in diesel generator sets," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 64, no. 2, pp. 649–658, 2016, doi: 10.1109/TR.2016.2327534.
- [10] N. Evalina and B. Ramadhani, "The Design of Solar Power Plants on Automatic Watering of Chili Plants," vol. 7929, pp. 24–28, 2024.
- [11] H. N. C. and K. F. A. S. M. A. Rahman, "Condition monitoring of marine diesel engines using temperature and pressure signatures," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 45–54, 2018, doi: 10.3390/jmse6020045.
- [12] P. T. Nguyen and F. Chen, "Modeling of diesel generator response under gradual load increase," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 132211–132219, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941035.



- [13] Y. W. and H. Z. L. Pan, "Temperature-field analysis of diesel engine cooling systems under different operational conditions," *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 94–104, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.161.
- [14] B. C. Huang and L. Zhao, "Real-time monitoring of lubricating oil pressure for predicting marine engine health," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 21, pp. 10039–10046, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2920031.
- [15] F. I. Pasaribu, I. D. Sara, T. Tarmizi, and N. Nasaruddin, "Harmonics Step Filter Control Model In Household Electricity," in *2023 2nd International Conference on Computer System, Information Technology, and Electrical Engineering (COSITE)*, 2023, pp. 165–170. doi: 10.1109/COSITE60233.2023.10249342.
- [16] Y. C. and B. K. J. S. Lee, "Fault detection in marine diesel generators using pressure-temperature signature analysis," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 68, no. 6, pp. 1835–1845, 2019, doi: 10.1109/TIM.2018.2850621.
- [17] L. C. and X. M. H. Zhang, "Thermal behavior characterization of lubricating oil in high-load diesel engines," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 138, pp. 368–376, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.121.
- [18] X. L. and Y. C. D. B. Wu, "Temperature prediction of diesel engine lubricating oil based on thermal characteristics," *Energy Convers. Manag.*, vol. 152, pp. 383–392, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.052.
- [19] F. I. Pasaribu, I. D. Sara, and T. Tarmizi, "Designed harmonic step filter automatic control system to improve power quality and electric efficiency Designed harmonic step filter automatic control system to improve power quality and electric efficiency," 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2777/1/012004.
- [20] M. K. Patel and A. Desai, "Performance evaluation of diesel generator using stepped load testing," *Energy Procedia*, vol. 90, pp. 602–610, 2016, doi: [https://10.1016/j.egypro.2015.11.779](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.779).
- [21] G. Lee and C. Park, "Analysis of cooling water flow instability in shipboard diesel engines," *Ocean Eng.*, vol. 198, no. 106955, 2011, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106955.