

Pengaruh Sistem Pendingin Air Tawar terhadap Kinerja Mesin Utama Kapal

Jannatul Marwah Tiro^{1,*}, Syerly Klara¹, M. Rusydi Alwi¹, Andi Husni Sitepu¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: jannatulmarwatiro@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya temperatur air tawar pendingin pada mesin utama kapal MT. NABILA 15 hingga mencapai 83°C, yang melebihi batas temperatur kerja optimal mesin. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran, meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta menyebabkan terjadinya overheating pada mesin utama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penurunan temperatur air tawar pendingin setelah dilakukan perbaikan (repair) sistem pendingin terhadap kinerja mesin utama kapal MT. NABILA 15. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan komparatif berdasarkan data operasional mesin sebelum dan sesudah repair sistem pendingin. Data dikumpulkan melalui observasi langsung, pencatatan data operasional mesin, dan studi dokumentasi. Parameter yang dianalisis meliputi daya efektif (Brake Power/BP), konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC), efisiensi termal, serta neraca kalor yang mencakup energi bahan bakar (Qf), daya efektif (Qp), panas yang diserap air pendingin (Qw), panas gas buang (Qexh), dan kehilangan panas (Qloss). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan repair sistem pendingin, temperatur air tawar pendingin outlet menurun dari 83°C menjadi 78°C. Penurunan temperatur tersebut diikuti dengan peningkatan daya efektif dari 1.618 kW menjadi 1.710 kW, penurunan nilai SFC dari 0,172 kg/kWh menjadi 0,157 kg/kWh, serta peningkatan efisiensi termal dari 62,04% menjadi 70,33%. Analisis neraca kalor menunjukkan bahwa nilai Qf menurun dari 2.964,448 kW menjadi 2.602,138 kW, Qw menurun dari 376,304 kW menjadi 287,207 kW, dan Qexh menurun dari 1.116,210 kW menjadi 876,399 kW, sedangkan Qloss meningkat dari 149,826 kW menjadi 266,681 kW. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perbaikan sistem pendingin air tawar mampu meningkatkan efisiensi termal dan kinerja mesin utama secara signifikan, sehingga mendukung pengoperasian kapal yang lebih andal dan hemat energi.

Abstract

Effect of the Freshwater Cooling System on the Performance of a Ship's Main Engine. This study was motivated by the increase in the freshwater cooling temperature of the main engine on board MT. NABILA 15, which reached 83°C and exceeded the engine's optimal operating temperature. This condition reduced combustion efficiency, increased fuel consumption, and raised the risk of engine overheating. The study aimed to analyze the effect of reducing the freshwater cooling temperature after repairing the cooling system on the performance of the ship's main engine. A quantitative method with a comparative approach was employed using operational data collected before and after the cooling system repair. Data were obtained through direct observation, operational engine records, and documentation studies. The analyzed parameters included Brake Power (BP), Specific Fuel Consumption (SFC), thermal efficiency, and heat balance consisting of fuel energy input (Qf), effective power output (Qp), heat absorbed by the cooling water (Qw), exhaust gas heat (Qexh), and heat losses (Qloss). The results showed that, following the cooling system repair, the outlet freshwater cooling temperature decreased from 83°C to 78°C. This reduction was accompanied by an increase in brake power from 1,618 kW to 1,710 kW, a decrease in SFC from 0.172 kg/kWh to 0.157 kg/kWh, and an improvement in thermal efficiency from 62.04% to 70.33%. Heat balance analysis further revealed that Qf decreased from 2,964.448 kW to 2,602.138 kW, Qw decreased from 376.304 kW to 287.207 kW, and Qexh decreased from 1,116.210 kW to 876.399 kW, while Qloss increased from 149.826 kW to 266.681 kW. Overall, the findings demonstrate that repairing the freshwater cooling system significantly improves the thermal efficiency and performance of the ship's main engine, thereby enhancing operational reliability and energy efficiency.

Kata Kunci: Efisiensi termal, kinerja mesin, mesin utama kapal, neraca kalor, sistem pendingin air tawar

1. Pendahuluan

Sistem pendingin air tawar memegang peranan krusial dalam menjaga stabilitas temperatur kerja

mesin utama kapal agar berada dalam batas operasional ideal, yakni antara 70°C hingga 80°C pada sistem pendingin tertutup. Ketika kemampuan

penyerapan panas menurun, komponen vital seperti cylinder liner dan piston akan mengalami pemuaian berlebih yang memperbesar gesekan mekanis, menurunkan efisiensi pembakaran, serta mereduksi daya mesin [1]. Kasus nyata terjadi pada kapal tanker MT. NABILA 15, di mana temperatur air tawar pendingin melonjak hingga mencapai 83°C, melampaui batas maksimum spesifikasi mesin Akasaka A34 sebesar 80°C. Peningkatan temperatur di atas ambang batas normal ini memicu fluktuasi suhu inlet dan outlet silinder, meningkatkan konsumsi bahan bakar, mempercepat keausan komponen, hingga berpotensi mengakibatkan fatalnya risiko overheating selama pelayaran niaga. Oleh karena itu, tindakan perbaikan (repair) pada instalasi pendingin menjadi sangat mendesak demi mengembalikan keandalan dan efisiensi sistem termal kapal.

Berdasarkan situasi tersebut, masalah utama dalam kajian ini dapat dirumuskan secara eksplisit, yaitu: "Bagaimana pengaruh perubahan temperatur air tawar pendingin setelah dilakukan repair pada sistem pendingin terhadap kinerja mesin utama kapal MT. NABILA 15?". Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan secara spesifik untuk menganalisis pengaruh dari perubahan temperatur air tawar pendingin setelah pelaksanaan repair sistem pendingin terhadap performa operasional mesin utama kapal MT. NABILA 15. Ruang lingkup analisis difokuskan pada pengujian komparatif dengan kondisi putaran konstan 240 RPM untuk mengetahui korelasi perubahan suhu terhadap parameter-parameter utama kinerja mesin.

Secara teoritis, kapal tanker dirancang secara khusus untuk mengangkut muatan cair massal dengan regulasi keselamatan perpipaan dan pompa yang ketat [2]. Pompa air tawar berfungsi untuk mensirkulasikan air tawar dalam sistem pendingin tertutup, dari mesin menuju fresh water cooler dan kembali lagi ke mesin [3]. Pompa ini memastikan air tawar terus menerus bersirkulasi untuk menyerap panas dan menjaga suhu mesin tetap stabil [4]. Untuk menunjang operasi yang aman, sistem pendingin tertutup memanfaatkan sirkulasi air tawar bersih melalui water jacket untuk menyerap panas internal mesin, yang kemudian didinginkan kembali oleh air laut sebagai media pendingin sekunder di dalam fresh water cooler (heat exchanger). Selain itu, sistem pendingin juga berperan dalam mendinginkan komponen-komponen penting mesin seperti cylinder head, cylinder jacket, dan oil cooler, sehingga menjaga performa dan keandalan mesin induk selama pelayaran [5]. Penggunaan air tawar dinilai lebih efektif karena meminimalkan risiko penumpukan karat dan kerak yang kerap menjadi penghambat utama laju perpindahan panas [6].

Proses perpindahan panas pada sistem ini mengandalkan mekanisme konveksi paksa yang digerakkan oleh pompa sirkulasi, di mana efektivitas pendinginan sangat bergantung pada kecepatan aliran fluida dan koefisien transfer panas [7]. Ketika terjadi gangguan berupa fouling atau kerak pada pipa pendingin, hambatan termal akan meningkat sehingga distribusi energi hasil pembakaran menjadi tidak seimbang [1]. Apabila media pendingin air tawar berkurang di dalam sistem, maka akan ada penambahan secara gravity dari expansion tank yang berada di posisi lebih tinggi dari mesin induk. Menurut teori termodinamika mesin pembakaran dalam, energi kimia dari bahan bakar tidak seutuhnya dikonversikan menjadi kerja mekanis, melainkan sebagian besar terbuang dalam bentuk panas yang harus dikendalikan demi mencegah kegagalan struktur material mesin.

Kinerja mesin sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran, kondisi operasi, desain mesin, serta karakteristik bahan bakar yang digunakan. Evaluasi kinerja ini penting untuk mengetahui efisiensi dan efektivitas kerja mesin dalam berbagai kondisi beban dan putaran [8]. Evaluasi performa mesin diesel kapal diukur secara kuantitatif melalui parameter kinerja mekanis dan analisis neraca kalor (heat balance). Parameter tersebut mencakup daya efektif (Brake power/BP) yang tersedia pada poros, konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC) sebagai indikator efisiensi ekonomi, serta efisiensi termal [9]. Sementara itu, analisis neraca kalor memetakan distribusi total energi panas masukan menjadi daya efektif, energi yang diserap media pendingin (Q_w), energi yang terbawa gas buang (Q_{exh}), serta rugi-rugi radiasi lingkungan (Q_{loss}) [10]. Melalui pendekatan komparatif neraca kalor ini, efektivitas perbaikan sistem pendingin dalam menekan kerugian energi dan meningkatkan daya guna mesin dapat dibuktikan secara akurat.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis dampak perbaikan sistem pendingin terhadap performa mesin kapal. Penelitian dilakukan pada September 2025 hingga Mei 2026. Objek yang diteliti secara spesifik adalah sistem pendingin air tawar dan kinerja mesin utama Akasaka A34 pada kapal tanker MT. NABILA 15 yang dapat dilihat pada Tabel 1. Seluruh pengujian performa mesin difokuskan pada kondisi operasional dengan putaran mesin yang berada di kisaran 240 RPM, guna mendapatkan data perbandingan yang konsisten antara kondisi sebelum dan sesudah dilakukannya perbaikan (repair) pada instalasi pendingin.

Tabel 1. Ukuran utama MT. Nabila 15

Dimensi	Ukuran
Nama Kapal	MT. NABILA 15
Owner	PT. Pelayaran Ardisal Utama
Register	Tanjung Perak
Flag	Indonesia
LOA	86.200 m
LBP	78.600 m
H	6.600 m
B	14.00 m
T	5.00 m
Vs	10.00 Knot

Teknik pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui observasi eksperimental dan pencatatan parameter operasional kamar mesin saat kapal berlayar. Peneliti mengukur dan mengumpulkan data temperatur air tawar pendingin pada sisi masuk (inlet) dan keluar (outlet) silinder, konsumsi bahan bakar kapal, serta temperatur gas buang. Data tersebut diambil dalam dua kondisi ruang waktu yang berbeda, yaitu pada saat mesin mengalami kendala kenaikan suhu (sebelum repair) dan setelah sistem pendingin selesai diperbaiki yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data operasional mesin sebelum repair berdasarkan data lapangan

Parameter	Nilai
Torsi Mesin (N.m)	64410.8
Putaran Mesin (RPM)	278
Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)	220.00
Laju Aliran Massa Air Pendingin yang Masuk ke Mesin (kg/h)	25000
Beda Tekanan Dalam Manometer (mmWC)	46.00
Suhu Air Pendingin Air Tawar Inlet (°C)	70
Suhu Air Pendingin Air Tawar Outlet (°C)	83
Suhu Gas Buang (°C)	400

Tabel 3. Data operasional mesin setelah repair berdasarkan data lapangan

Parameter	Nilai
Torsi Mesin (N.m)	68073.2
Putaran Mesin (RPM)	268
Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)	205.00
Laju Aliran Massa Air Pendingin yang Masuk ke Mesin (kg/h)	22550
Beda Tekanan Dalam Manometer (mmWC)	43.00
Suhu Air Pendingin Air Tawar Inlet (°C)	67
Suhu Air Pendingin Air Tawar Outlet (°C)	78
Suhu Gas Buang (°C)	330

Teknik analisis data dilakukan dengan metode komparatif matematis untuk mengevaluasi perubahan parameter unjuk kerja mesin. Peneliti menghitung nilai daya efektif (Brake power), konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption), serta

menyusun tabel neraca kalor (heat balance). Melalui neraca kalor ini, peneliti menganalisis pergeseran distribusi energi panas hasil pembakaran—termasuk persentase panas yang diserap air pendingin dan yang terbuang—untuk membuktikan efektivitas hasil perbaikan secara kuantitatif.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengaruh repair sistem pendingin terhadap kinerja mesin utama

Hasil inspeksi menunjukkan bahwa peningkatan temperatur air tawar pendingin hingga 83°C disebabkan oleh menurunnya kinerja beberapa komponen sistem pendingin, terutama tube cooler yang mengalami fouling, serta kerusakan pada strainer, valve, pipa inlet-outlet, O-ring cover cooler, dan zinc anode. Kondisi tersebut menghambat perpindahan panas dan menurunkan efektivitas sirkulasi fluida pendingin. Setelah dilakukan pembersihan tube serta penggantian komponen yang mengalami kerusakan, temperatur air tawar pendingin outlet turun menjadi 78°C. Penurunan temperatur ini menunjukkan bahwa proses pelepasan panas kembali berlangsung lebih efektif sehingga mesin dapat bekerja pada kondisi operasi yang lebih stabil.

Perbaikan sistem pendingin memberikan dampak langsung terhadap performa mesin. Daya efektif (Brake power) meningkat dari 1.618 kW menjadi 1.710 kW, sementara konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) menurun dari 0,172 kg/kWh menjadi 0,157 kg/kWh. Selain itu, efisiensi termal meningkat dari 62,04% menjadi 70,33%. Peningkatan daya efektif menunjukkan bahwa mesin mampu mengubah energi hasil pembakaran menjadi energi mekanik dengan lebih baik setelah temperatur kerja kembali mendekati kondisi optimum. Temperatur pendingin yang terlalu tinggi sebelumnya menyebabkan proses pelepasan panas dari komponen mesin tidak berlangsung secara optimal, sehingga sebagian energi hilang dalam bentuk panas dan tidak dapat dikonversi menjadi daya. Setelah repair, stabilitas temperatur kerja meningkatkan kualitas pembakaran dan mengurangi hambatan termal pada mesin.

Penurunan nilai SFC mengindikasikan bahwa kebutuhan bahan bakar untuk menghasilkan setiap satuan daya menjadi lebih kecil. Dengan kata lain, mesin menjadi lebih ekonomis dalam penggunaan bahan bakar. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan sistem pendingin tidak hanya meningkatkan performa teknis mesin, tetapi juga memberikan keuntungan operasional melalui penghematan konsumsi bahan bakar.

Peningkatan efisiensi termal hingga mencapai 70,33% memperlihatkan bahwa proporsi energi bahan bakar yang berhasil diubah menjadi kerja berguna semakin besar. Temuan ini memperkuat argumen bahwa pengendalian temperatur merupakan faktor penting dalam menjaga efisiensi mesin diesel kapal.

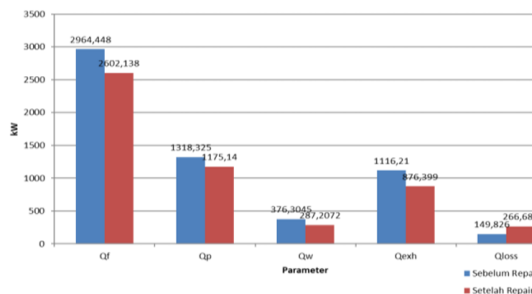
Sistem pendingin yang bekerja optimal mampu menjaga keseimbangan termal mesin sehingga energi hasil pembakaran dapat dimanfaatkan secara lebih efektif.

3.2. Analisis distribusi energi berdasarkan neraca kalor

Perubahan kinerja mesin setelah repair juga terlihat dari hasil analisis neraca kalor yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 1. Energi panas hasil pembakaran (Q_f) menurun dari 2.964,448 kW menjadi 2.602,138 kW. Pada saat yang sama, panas yang terbawa oleh media pendingin (Q_w) turun dari 376,304 kW menjadi 287,207 kW, sedangkan panas yang terbawa gas buang (Q_{exh}) turun dari 1.116,21 kW menjadi 876,399 kW. Sebaliknya, nilai Q_{loss} meningkat dari 149,826 kW menjadi 266,681 kW.

Tabel 4. Tabulasi neraca kalor (heat balance) sebelum dan sesudah repair

Parameter	Sebelum Repair	Setelah Repair
	kW	
Panas yang didapat dari pembakaran (Q_f)	2964.448	2602.138
Panas yang berguna pada efektif mesin (Q_p)	1318.33	1175.14
Panas yang terbawa oleh media pendingin (Q_w)	376.304	287.207
Panas terbawa oleh gas buang (Q_{exh})	1116.21	76.399
Panas terbawa karena pancaran & gesekan (Q_{loss})	149.826	266.681



Gambar 1. Perbandingan nilai rencana kalor sebelum dan setelah repair

Penurunan nilai Q_f menunjukkan bahwa mesin memerlukan energi bahan bakar yang lebih sedikit untuk menghasilkan performa yang lebih baik. Temuan ini menjadi indikasi bahwa efisiensi sistem secara keseluruhan meningkat setelah dilakukan repair. Dengan kata lain, peningkatan performa mesin tidak dicapai melalui penambahan konsumsi energi, melainkan melalui pemanfaatan energi yang lebih efektif.

Penurunan Q_w menunjukkan bahwa sistem pendingin bekerja lebih efisien dalam mengendalikan temperatur mesin. Kondisi ini bukan berarti kemampuan pendinginan menurun, melainkan menunjukkan bahwa panas berlebih yang harus dibuang oleh sistem menjadi lebih kecil akibat

stabilnya proses pembakaran dan perpindahan panas yang lebih baik pada fresh water cooler. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pendingin telah kembali menjalankan fungsinya secara optimal.

Penurunan Q_{exh} memiliki makna yang lebih penting dari sisi efisiensi energi. Berkurangnya panas yang terbuang melalui gas buang menunjukkan bahwa lebih banyak energi hasil pembakaran dimanfaatkan di dalam mesin sebelum gas hasil pembakaran keluar melalui sistem exhaust. Dengan demikian, proses pembakaran berlangsung lebih efektif dan kehilangan energi dapat ditekan.

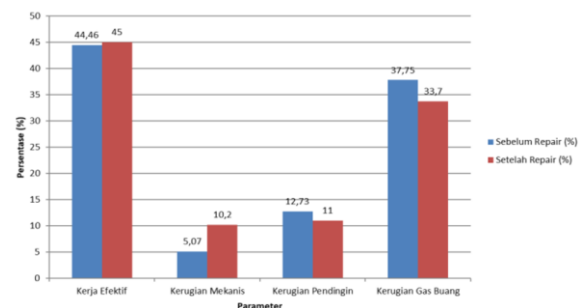
Meskipun Q_{loss} meningkat, kondisi ini tidak serta-merta menunjukkan penurunan kinerja mesin. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh perubahan distribusi energi akibat menurunnya total energi panas yang masuk ke dalam sistem. Fakta bahwa daya efektif dan efisiensi termal tetap meningkat menunjukkan bahwa secara keseluruhan mesin bekerja lebih efisien setelah repair.

3.3. Efisiensi distribusi energi setelah repair sistem pendingin

Analisis distribusi energi menunjukkan bahwa persentase kerja efektif meningkat dari 44,46% menjadi 45,0%. Pada saat yang sama, kerugian akibat pendinginan menurun dari 12,73% menjadi 11,0%, sedangkan kerugian gas buang turun dari 37,75% menjadi 33,7%. Data ini dapat dilihat pada Tabel 5, dan grafik perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 5. Tabulasi persentase distribusi neraca kalor sebelum dan sesudah repair

Parameter	Sebelum Repair	Setelah Repair
	%	
Kerja efektif	44.46	45.0
Kerugian mekanis	5.07	10.2
Kerugian pendingin	12.73	11.0
Kerugian gas buang	37.75	33.7



Gambar 2. Perbandingan efisiensi dan kerugian energi sistem sebelum dan setelah repair

Peningkatan kerja efektif menunjukkan bahwa proporsi energi yang berhasil dikonversi menjadi daya mekanik semakin besar. Walaupun peningkatannya relatif kecil secara persentase, hasil ini menunjukkan bahwa repair sistem pendingin berhasil memperbaiki

efisiensi pemanfaatan energi di dalam mesin. Penurunan kerugian pendinginan dan kerugian gas buang memperkuat temuan tersebut karena menunjukkan berkurangnya energi yang terbuang selama proses operasi mesin.

Temuan ini memberikan makna bahwa sistem pendingin tidak hanya berfungsi sebagai pengendali temperatur, tetapi juga berperan langsung dalam menentukan efisiensi konversi energi pada mesin diesel kapal. Ketika sistem pendingin mengalami fouling, penyumbatan, atau kerusakan komponen, distribusi energi menjadi kurang optimal sehingga konsumsi bahan bakar meningkat dan daya mesin menurun. Sebaliknya, ketika sistem pendingin kembali bekerja secara optimal, energi hasil pembakaran dapat dimanfaatkan secara lebih efektif untuk menghasilkan daya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa repair sistem pendingin air tawar memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan kinerja mesin utama MT. NABILA 15. Penurunan temperature pendingin berhasil meningkatkan daya efektif, menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik, meningkatkan efisiensi termal, serta memperbaiki distribusi energi pada mesin. Dengan demikian, kondisi sistem pendingin yang baik merupakan faktor penting dalam menjaga keandalan, efisiensi, dan performa mesin utama kapal.

4. Kesimpulan

Pengaruh setelah dilakukan repair pada sistem pendingin air tawar, temperatur menurun dari 83°C menjadi 78°C (6,02%) yang diikuti peningkatan kinerja mesin, yaitu daya efektif naik dari 1.618 kW menjadi 1.710 kW (5,69%), konsumsi bahan bakar turun dari 278 menjadi 268 kg/jam, SFC turun dari 0,172 menjadi 0,157 kg/kWh (8,72%), serta efisiensi termal meningkat dari 62,04% menjadi 70,33% (13,36%). Pada neraca kalor, Qf turun dari 2.964,448 kW menjadi 2.602,138 kW (12,22%), Qp dari 1.318,33 kW menjadi 1.175,14 kW (10,86%), Qw dari 376,304 kW menjadi 287,207 kW (23,68%), dan

Qexh dari 1.116,21 kW menjadi 876,399 kW (21,48%), sedangkan Qloss meningkat dari 149,826 kW menjadi 266,681 kW. Dengan demikian, penelitian ini secara ilmiah membuktikan bahwa perbaikan sistem pendingin air tawar memberikan pengaruh nyata dan signifikan terhadap peningkatan kinerja serta efisiensi mesin utama.

Adapun dari hasil penelitian ini disarankan agar penelitian selanjutnya dapat mengkaji pengaruh sistem pendingin air tawar terhadap kinerja mesin utama pada variasi putaran dan beban mesin yang berbeda, sehingga diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif mengenai karakteristik kerja mesin.

Referensi

- [1] D. A. Gunarin, "Pengaruh Naiknya Temperatur Pendingin Air Tawar terhadap Mesin Induk di KMP. Drajat Paciran," Undergraduate Thesis, 2022.
- [2] R. Saleh, "Analisis Terjadinya Keterlambatan Penyandaran Kapal Tanker PT. Pertamina di Pelabuhan Tanjung Priok," *Jurnal Logistik D III Transportasi UNJ*, vol. 3, no. 1, pp. 1–13, 2010.
- [3] S. Hidayat, "Identifikasi Penyebab Naiknya Temperatur Air Tawar Pendingin Mesin Induk di MV. Armada Papua," Undergraduate Thesis, pp. 1–66, 2019.
- [4] P. S. Handika, "Analisa Meningkatnya Temperatur Air Pendingin Mesin Induk di MT. Princess Naomi," Diploma Thesis, pp. 6–19, 2018.
- [5] R. Adolph, "Penyebab Naiknya Temperatur Air Tawar Pendingin," pp. 1–23, 2016.
- [6] Intanghina, "Analisa Meningkatnya Temperatur Air Pendingin Mesin," *Convention Center di Kota Tegal*, p. 9, 2019.
- [7] "JP POLMAN Heat Transfer," n.d.
- [8] "Pengaruh Naiknya Temperatur Pendingin Air Tawar terhadap Mesin Induk di KMP. Drajat," 2022.
- [9] M. S. Ummah, "Pengaruh Naiknya Temperatur Pendingin Air Tawar terhadap Mesin Induk," vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [10] S. Marsudi, "Pengaruh Performa Turbocharger terhadap Kinerja Mesin Induk di MT. Green Park," *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2022.
- [11] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1988.
- [12] A. S. A. Al-Hasan, "Energy Balance for a Diesel Engine Operating on Pure Biodiesel, Diesel Fuel, and Biodiesel–Diesel Blends," pp. 3–10, 2006.