

PENERAPAN KONSEP TERMODINAMIKA DALAM ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL PADA INDUSTRI MARITIM

¹Masringgit Marwiyah Nst

¹ TEKNIKA , Politeknik Adiguna Maritim Indonesia Medan
email : masringgitmarwiyahnst@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin diesel di industri maritim dengan pendekatan konsep-konsep termodinamika, khususnya hukum pertama dan kedua termodinamika. Mesin diesel merupakan komponen utama dalam penggerak kapal, sehingga pemahaman efisiensi energi dan proses termodinamika sangat penting untuk optimalisasi performa. Metode penelitian menggunakan studi kasus pada mesin diesel kapal berkapasitas 1500 kW dengan parameter pengukuran meliputi konsumsi bahan bakar, temperatur, tekanan, serta emisi gas buang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi termal mesin berkisar 40%–46%, dengan losses terbesar terjadi pada sistem gas buang dan pendinginan. Temuan ini selaras dengan teori bahwa mesin diesel modern belum sepenuhnya mampu mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik secara optimal. Implikasi dari penelitian ini memberikan dasar pengembangan strategi perawatan berbasis energi serta penghematan operasional kapal.

Kata Kunci: Termodinamika, Mesin Diesel, Industri Maritim, Efisiensi Energi, Analisis Kinerja.

Abstract. This research aims to analyze the performance of diesel engines in the maritime industry using thermodynamic concepts, specifically the first and second laws of thermodynamics. Diesel engines are a key component in ship propulsion, so understanding energy efficiency and thermodynamic processes is crucial for optimizing performance. The research method uses a case study of a 1,500 kW marine diesel engine, with measurement parameters including fuel consumption, temperature, pressure, and exhaust emissions. The results indicate that the engine's thermal efficiency ranges from 40% to 46%, with the largest losses occurring in the exhaust and cooling systems. This finding aligns with the theory that modern diesel engines are not yet fully capable of optimally converting the chemical energy of the fuel into mechanical energy. The implications of this research provide a basis for developing energy-based maintenance strategies and ship operational savings.

Keywords: Thermodynamics, Diesel Engine, Maritime Industry, Energy Efficiency, Performance Analysis.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang teknik mesin telah memberikan banyak kemajuan dalam desain dan pengoperasian mesin, baik mesin pembakaran dalam, mesin pendingin, maupun mesin konversi energi lainnya. Salah satu aspek penting yang menjadi dasar dalam memahami dan mengembangkan mesin adalah ilmu termodinamika, yaitu ilmu yang mempelajari tentang hubungan antara panas, kerja, dan energi. Konsep dasar termodinamika, terutama Hukum Pertama dan Hukum

Kedua Termodinamika, memberikan kerangka kerja ilmiah yang sangat relevan untuk menganalisis kinerja mesin, baik dari segi efisiensi energi maupun konversi energi.

Dalam dunia industri, khususnya industri maritim, mesin diesel merupakan salah satu mesin yang paling banyak digunakan karena kemampuannya menghasilkan tenaga besar dengan konsumsi bahan bakar yang relatif lebih ekonomis. Namun, dalam proses konversi energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik, sebagian besar energi hilang dalam

bentuk panas melalui gas buang, sistem pendinginan, serta gesekan mekanis. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai proses termodinamika yang terjadi dalam mesin sangat diperlukan guna meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi pemborosan energi.

Industri maritim memiliki peranan strategis dalam mendukung perekonomian global, khususnya melalui sektor pelayaran dan logistik antarnegara. Di dalam operasionalnya, kapal-kapal niaga maupun kapal industri umumnya mengandalkan mesin diesel sebagai sumber utama tenaga penggerak. Mesin diesel dipilih karena memiliki karakteristik efisiensi bahan bakar yang relatif tinggi dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam lainnya, serta kemampuan menghasilkan torsi besar yang sesuai untuk kebutuhan operasional kapal. Namun, di balik keunggulan tersebut, mesin diesel juga menyimpan tantangan tersendiri, khususnya terkait dengan efisiensi konversi energi dan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Dalam proses kerjanya, mesin diesel melakukan konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik melalui serangkaian proses termodinamika. Namun demikian, tidak seluruh energi dari bahan bakar dapat dikonversi menjadi tenaga poros secara sempurna. Sebagian besar energi hilang dalam bentuk panas yang terbuang melalui sistem gas buang, pendingin mesin, dan gesekan mekanis. Oleh karena itu, pemahaman tentang konsep termodinamika, terutama Hukum Pertama dan Hukum Kedua Termodinamika, sangat penting untuk menganalisis dan mengoptimalkan kinerja mesin diesel tersebut.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efisiensi termal mesin diesel umumnya berkisar antara 40% hingga 46%, tergantung pada bagaimana desain mesin, jenis bahan bakar, sistem pendinginan, dan kondisi operasional. Dengan begitu, penelitian-penelitian tersebut umumnya lebih banyak dilakukan dalam konteks mesin darat atau otomotif. Studi khusus mengenai penerapan prinsip termodinamika dalam menganalisis kinerja mesin diesel pada industri maritim, khususnya pada kapal niaga masih terbatas, padahal efisiensi energi dalam industri ini sangat berpengaruh terhadap biaya operasional dan emisi pada lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan konsep dasar termodinamika dalam menganalisis kinerja mesin diesel pada kapal niaga sebagai bagian dari industri maritim. Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi efisiensi konversi energi bahan bakar menjadi tenaga mekanik, menganalisis

sumber-sumber kehilangan energi (losses), serta memberikan gambaran ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung pengembangan teknologi ramah lingkungan di sektor maritim.

Hukum Pertama Termodinamika menjelaskan tentang keseimbangan energi, di mana energi yang masuk ke dalam sistem harus sama dengan jumlah energi yang keluar ditambah perubahan energi dalam sistem. Sedangkan Hukum Kedua Termodinamika menekankan adanya keterbatasan dalam konversi energi, di mana sebagian energi akan selalu hilang sebagai entropi. Prinsip-prinsip ini menjadi dasar penting dalam memahami mengapa mesin diesel memiliki batasan efisiensi yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya.

Mesin diesel memiliki peran strategis sebagai penggerak utama dalam industri maritim, baik pada kapal kargo, tanker, maupun kapal penumpang. Seiring dengan perkembangan teknologi, isu efisiensi energi dan emisi semakin menjadi sorotan dalam pengoperasian mesin diesel. Termodinamika sebagai ilmu dasar yang mempelajari konversi energi menjadi landasan penting untuk menganalisis dan memahami bagaimana mesin bekerja serta bagaimana energi yang masuk dikonversi menjadi kerja nyata.

Beberapa penelitian terdahulu menyoroti bahwa mesin diesel memiliki keterbatasan dalam efisiensi konversi energi, di mana sebagian besar energi hilang melalui sistem pendingin dan gas buang. Namun, kajian spesifik yang mengaitkan teori termodinamika dengan kinerja mesin diesel secara praktis dalam konteks industri maritim masih terbatas, khususnya di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan prinsip-prinsip dasar termodinamika dalam menganalisis efisiensi termal mesin diesel kapal, sekaligus mengidentifikasi faktor penyebab losses energi sehingga dapat digunakan sebagai dasar peningkatan efisiensi operasional.

METODE PENELITIAN

Metode Lapangan (Field Research) Merupakan teknik pengumpulan data yang diperoleh secara langsung dengan cara turun ke lapangan dan mengamati bagaimana Penerapan Konsep Termodinamika dalam Analisis Kinerja Mesin Diesel pada Industri Maritim

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan dilakukan pada

salah satu kapal kargo berbobot 12.000 DWT yang menggunakan mesin diesel utama berkapasitas 1500 kW yang beroperasi pada kecepatan putaran konstan 750 rpm. Data diperoleh melalui observasi langsung dan pengukuran variabel-variabel utama sistem termodinamika mesin, yaitu:

1. Tekanan ruang bakar
2. Temperatur gas buang
3. Konsumsi bahan bakar (liter/jam)
4. Temperatur pendingin
5. Output daya poros (kW)

Analisis dilakukan dengan menghitung efisiensi termal menggunakan formula dasar hukum pertama termodinamika:

Parameter	Rata-Rata
Konsumsi BBM	270 liter/jam
Nilai Kalor BBM	42.700 kJ/kg
Temperatur Gas Buang	350°C - 420°C
Temperatur Pendingin	75°C - 85°C
Daya Poros	1350 - 1400 kW

Berdasarkan data tersebut, perhitungan efisiensi termal mesin diesel dilakukan dengan rumus:

$$\eta = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Energi Input Bahan Bakar}} \times 100 \%$$

Energi input dihitung berdasarkan nilai kalor bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan, sedangkan losses dianalisis dari hasil pengukuran temperatur dan aliran fluida pada sistem gas buang dan pendinginan. Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata konsumsi bahan bakar sebesar 270 liter/jam dengan nilai kalor bahan bakar 42.700 kJ/kg. Output daya mesin berkisar antara 1350 kW – 1400 kW. Setelah dianalisis, efisiensi termal mesin diesel berkisar antara 38%–42%. Hal ini mengindikasikan bahwa lebih dari separuh energi bahan bakar hilang, yang mayoritas diserap oleh sistem gas buang (27–32%) dan sistem pendingin (20–24%).

Temuan ini sejalan dengan teori siklus termodinamika ideal (Siklus Diesel) yang menunjukkan bahwa efisiensi mesin sangat dipengaruhi oleh perbandingan kompresi dan temperatur maksimal pembakaran. Dalam praktiknya, keterbatasan material mesin, aspek keamanan, dan regulasi emisi membatasi pencapaian efisiensi optimal. Dari sisi operasional kapal, hasil ini memberikan rekomendasi agar sistem perawatan difokuskan pada perbaikan isolasi sistem gas buang, peningkatan efisiensi turbocharger, dan optimasi sistem pendingin guna meminimalkan losses energi.

Analisis Kehilangan Energi (Losses)

Berdasarkan data temperatur gas buang dan sistem pendinginan, proporsi kehilangan energi dapat dirinci sebagai berikut:

Gas Buang: 28% - 32% dari total energi input
Pendinginan: 20% - 24% dari total energi input
Gesekan dan Lainnya: 6% - 10%

Distribusi energi ini sejalan dengan teori siklus termodinamika ideal yang menyatakan bahwa mesin diesel tidak akan mencapai efisiensi 100% karena adanya kehilangan energi yang tidak dapat dihindari. Hal ini semakin diperkuat oleh pengaruh hukum kedua termodinamika yang menyatakan bahwa tidak seluruh energi panas dapat dikonversi menjadi kerja.

1. Pembahasan Kinerja Mesin Berdasarkan Teori Termodinamika

Secara teori, efisiensi mesin diesel dipengaruhi oleh perbandingan kompresi (compression ratio), temperatur maksimum pembakaran, dan sistem pembuangan panas. Pada mesin yang diteliti, perbandingan kompresi mencapai 15:1, yang sebenarnya sudah cukup baik untuk mesin diesel kelas menengah.

Namun, adanya pembatasan suhu maksimum pembakaran yang terkait dengan keamanan material mesin dan regulasi emisi IMO 2020 menyebabkan mesin tidak dapat beroperasi pada suhu ideal maksimum yang diharapkan oleh teori termodinamika. Akibatnya, sebagian besar energi tetap hilang melalui gas buang yang suhunya masih cukup tinggi (350°C - 420°C). Selain itu, sistem pendinginan air laut pada kapal turut menjadi penyumbang losses energi karena harus menjaga suhu mesin tetap stabil dan aman. Kehilangan panas ini meskipun tidak produktif, tetap diperlukan demi mencegah overheating.

2. Implikasi Hasil terhadap Industri Maritim

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa efisiensi mesin diesel modern pada kapal maritim masih cukup jauh dari ideal, sehingga perlu adanya pengembangan teknologi lanjutan seperti:

- a. Waste Heat Recovery System (WHRS) untuk memanfaatkan panas gas buang.
- b. Optimasi turbocharger untuk meningkatkan efisiensi volumetrik.

Penggunaan sistem pendingin dengan kontrol otomatis untuk menekan losses yang tidak perlu. Penerapan monitoring energi berbasis IoT untuk

evaluasi kinerja mesin secara real-time. Dengan memahami profil losses energi secara lebih detail, operator kapal dapat menyusun strategi operasional dan perawatan berbasis efisiensi energi sehingga lebih hemat bahan bakar, ramah lingkungan, dan sesuai standar internasional.

KESIMPULAN

Penerapan konsep termodinamika dalam analisis kinerja mesin diesel pada industri maritim memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terkait proses kerja mesin, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, serta dampaknya terhadap emisi dan lingkungan. Melalui pendekatan termodinamika, kinerja mesin diesel dapat dianalisis secara kuantitatif berdasarkan parameter seperti tekanan, temperatur, volume, dan energi yang terlibat dalam setiap siklus pembakaran. mesin diesel pada industri maritim sangat penting untuk memahami bagaimana energi termal diubah menjadi energi mekanik secara efektif dan efisien. Dengan mengacu pada prinsip-prinsip dasar termodinamika, seperti hukum pertama tentang kekekalan energi dan hukum kedua tentang efisiensi energi, analisis kinerja mesin dapat dilakukan secara lebih akurat dan sistematis.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan prinsip termodinamika, seperti hukum pertama dan kedua, sangat berperan dalam optimalisasi efisiensi mesin, pengurangan losses energi, serta peningkatan daya guna bahan bakar. Selain itu, pemahaman termodinamika membantu dalam pengambilan keputusan teknis untuk perawatan, perbaikan, hingga modifikasi mesin agar dapat memenuhi standar kinerja dan regulasi maritim yang semakin ketat, khususnya terkait efisiensi energi dan pengurangan emisi gas buang.

Secara keseluruhan, penerapan konsep termodinamika tidak hanya berkontribusi dalam peningkatan performa mesin diesel di sektor maritim, tetapi juga mendukung upaya keberlanjutan industri melalui efisiensi energi dan pengurangan dampak lingkungan.

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan prinsip termodinamika dapat memberikan gambaran jelas terkait efisiensi kinerja mesin diesel pada industri maritim. Efisiensi mesin diesel yang dianalisis masih berada dalam batas umum mesin diesel modern, yakni 38%-42%. Penyebab utama losses energi berasal dari sistem gas buang dan pendinginan. Temuan ini dapat menjadi dasar strategi pengelolaan energi yang lebih efektif, termasuk

peningkatan sistem pemulihan panas dan efisiensi operasional mesin kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers. (2019). ASME Performance Test Code for Reciprocating Internal Combustion Engines. ASME.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2020). Thermodynamics: An Engineering Approach (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2020). Thermodynamics: An Engineering Approach (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2021). Exergy: Energy, Environment, and Sustainable Development (3rd ed.). Elsevier.
- Eastop, T. D., & McConkey, A. (1993). Applied Thermodynamics for Engineering Technologists (5th ed.). Longman Scientific & Technical.
- Ferguson, C. R., Kirkpatrick, A. T., & Obert, E. F. (2015). Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences (3rd ed.). Wiley.
- Heywood, J. B. (2018). Internal Combustion Engine Fundamentals (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Heywood, J. B. (2018). Internal Combustion Engine Fundamentals (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- IMO. (2020). International Maritime Organization: Energy Efficiency Measures for Ships. IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (2020). IMO 2020: Energy Efficiency Measures for Ships. IMO Publishing.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2020). Fundamentals of Engineering Thermodynamics (9th ed.). Wiley.
- Pulkrabek, W. W. (2014). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (2nd ed.). Pearson.
- Rajput, R. K. (2016). A Textbook of Thermal Engineering (10th ed.). Laxmi Publications.
- Stone, R., & Ball, J. K. (2020). Automotive Engineering Fundamentals. SAE International.
- Stone, R., & Ball, J. K. (2020). Automotive Engineering Fundamentals. SAE International.