



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 5455-5462

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Pengaruh Kinerja *Turbocharger* pada Daya Mesin Induk Pada Kapal LPG/C Cipta Diamond

Richard Imanuel Aldilenz Lao¹, Muhammad Darwis², Indah Ayu Johanda Putri³, Azis Nugroho⁴, Antonius Edy Kristiyono⁵

^{1,2,4,5} Prodi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

³Prodi Transportasi Laut, Politeknik Pelayaran Surabaya

¹laorichard13@gmail.com, ²ucok15.du@gmail.com, ³indahayu@poltekpel-sby.ac.id, ⁴azis.nugroho@poltekpel-sby.ac.id, ⁵edvantoni25@gmail.com

Abstrak

Sea transportation is essential to global logistics, and the efficiency of a vessel's propulsion system is critical to operational performance, especially on LPG carriers. Turbochargers enhance diesel engine volumetric efficiency by utilizing exhaust gases to compress intake air, enabling more complete combustion and greater power output. Declining turbocharger performance can reduce engine power, increase fuel consumption, and raise exhaust gas temperatures beyond safe limits. This study investigates the impact of turbocharger performance on the main engine power output of the LPG/C Cipta Diamond vessel. This study employs a descriptive qualitative approach, using data collection techniques such as direct observation, structured interviews with chief engineers and technicians, and documentation of engine logbook data. The collected data were analyzed using the Fishbone method (Ishikawa diagram) to identify the root causes of the observed decline in turbocharger performance. The findings indicate that several factors influence turbocharger performance, including the physical condition of its components, the cleanliness of the air intake ducts, exhaust gas temperature levels, and lubricant quality. Additionally, human factors and maintenance scheduling were found to significantly affect the stability of turbocharger performance. Mitigation measures implemented to address performance degradation include routine maintenance, examination of exhaust gas pressure and temperature, replacement of wear-prone components such as bearings and seals, and the use of air pressure and temperature monitoring systems to enable early detection of performance decline.

Keyword: Intake Pressure, Fishbone Maintenance, Main Engine Power, Turbocharger

1. Latar Belakang

Era globalisasi saat ini, transportasi laut memiliki peranan penting dalam mendukung sistem logistik dan perdagangan internasional. (Stopford, 2013) membagi layanan logistik transportasi laut menjadi empat segmen berbeda, yaitu muatan curah kering (*dry bulk*), muatan curah cair (*wet bulk*), kapal kontainer (*containerships*), dan kapal pengangkut gas cair (*liquefied gas carriers*)—yaitu Gas Alam Cair (LNG) dan Gas Minyak Bumi Cair (LPG). Kapal niaga seperti *Liquefied Petroleum Gas Carrier* (LPG/C) menjadi moda utama dalam pendistribusian gas cair secara efisien dan aman (M. Hassan & Kamal Elsemmar, 2024). *Liquefied Petroleum Gas Carrier* (LPG/C) akan berperan penting karena bahan bakar yang ramah lingkungan akan menggantikan bahan bakar fosil di masa depan (Michail & Melas, 2022).

Keberhasilan operasional kapal sangat ditentukan oleh efisiensi dan keandalan sistem propulsi, terutama pada mesin induk diesel yang menjadi penggerak utama kapal. Kapal LPG/C menggunakan mesin induk diesel dengan sistem *turbocharging* sebagai penggerak utama. *Turbocharger* berfungsi memompa udara yang dimanfaatkan untuk pembilasan dan pembakaran dalam silinder mesin diesel. *Turbocharger* merupakan komponen vital yang digerakkan dengan memanfaatkan gas buang (Fernanda et al., 2025). Dalam praktiknya, sering terjadi penurunan performa *turbocharger* akibat penumpukan karbon, keausan bantalan, atau kurangnya perawatan. Kondisi ini akan menurunkan tekanan udara masuk dan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna, serta akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dan nilai emisi gas buang yang lebih tinggi. Tadros dalam penelitiannya menunjukkan bahwa *turbocharger* yang tidak bekerja optimal akan menyebabkan daya mesin turun signifikan terutama ketika beban tinggi (Tadros et al., 2019).

Selain berdampak pada efisiensi bahan bakar, performa *turbocharger* juga berpengaruh pada umur pakai komponen mesin. Ketidakseimbangan tekanan dan suhu antar silinder dapat mempercepat keausan piston dan liner (Anantharaman et al., 2021). Hal ini tentu berdampak langsung pada biaya operasional dan jadwal pelayaran kapal.

Seiring meningkatnya tuntutan efisiensi energi dan regulasi emisi seperti IMO Tier II dan Tier III, *turbocharger* memegang peranan penting dalam menjaga performa mesin induk agar tetap efisien dan ramah lingkungan. Peneliti Vellaiyan dan Amirthagadeswaran menegaskan bahwa kombinasi sistem *turbocharging* dengan teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) mampu memenuhi standar emisi IMO tanpa mengorbankan daya mesin (Vellaiyan & Amirthagadeswaran, 2017).

Berdasarkan hal tersebut, analisis hubungan antara kinerja *turbocharger* dan daya mesin induk pada kapal LPG/C Cipta Diamond menjadi sangat penting. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasi kapal, strategi perawatan preventif *turbocharger*, serta menjadi referensi teknis bagi engineer kapal dalam menjaga performa mesin secara optimal.

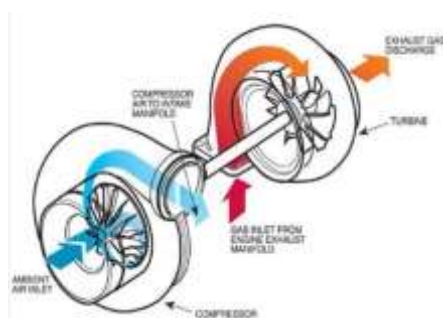
Udara yang dipadatkan oleh *turbocharger* memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi per satuan volumenya. Peningkatan kerapatan udara ini membuat proses pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar menjadi jauh lebih optimal (Peng et al., 2023). Dengan jumlah oksigen yang lebih banyak, proses pembakaran dapat berlangsung lebih sempurna, menghasilkan suhu pembakaran yang stabil serta tekanan ekspansi yang lebih besar. Kondisi ini secara langsung meningkatkan energi yang dihasilkan dari setiap siklus pembakaran. sebagai akibatnya, mesin mampu menghasilkan daya yang lebih besar tanpa perlu meningkatkan dimensi fisik atau memperbesar kapasitas silinder mesin. Teknologi *turbocharging* memungkinkan mesin bekerja lebih efisien karena lebih banyak energi yang dapat dihasilkan dari volume silinder yang sama. Hal ini menjadikan *turbocharger* sangat efektif dalam menaikkan rasio tenaga terhadap ukuran mesin (*power-to-size ratio*) (Hatami et al., 2014).

Dengan demikian, teknologi *turbocharging* memberikan keuntungan signifikan dibandingkan mesin naturally aspirated (tanpa turbo). Mesin yang dilengkapi *turbocharger* dapat menghasilkan daya setara, atau bahkan lebih tinggi, dibandingkan mesin tanpa turbo yang memiliki volume silinder lebih besar. Selain itu, penggunaan *turbocharger* juga membuka peluang penghematan ruang, pengurangan bobot mesin, dan peningkatan efisiensi bahan bakar secara keseluruhan karena mesin tidak perlu dibesarkan untuk mencapai output daya yang sama.



Gambar 1 Komponen Turbocharger
Sumber : Artikel Teknologi

Kinerja optimal *turbocharger* bergantung pada berbagai parameter teknis, seperti tekanan udara masuk (*boost pressure*), temperatur gas buang, dan rasio kecepatan putar turbin terhadap beban mesin. Jika *turbocharger* mengalami penurunan performa, misalnya karena keausan bantalan, kebocoran udara pada sistem pemasukan, atau penumpukan karbon pada sudu-sudu turbin, maka tekanan udara masuk ke ruang bakar akan menurun. Hal ini mengakibatkan pembakaran menjadi tidak sempurna, daya mesin berkurang, konsumsi bahan bakar meningkat, dan suhu gas buang menjadi tidak stabil.



Gambar 2 Prinsip Kerja Turbocharger
Sumber : Artikel Teknologi

Dari berbagai penelitian yang telah dikaji, terdapat kesamaan hasil yang menunjukkan bahwa kinerja *turbocharger* sangat memengaruhi efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, dan daya mesin induk. Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar kuat untuk melanjutkan studi ini, dengan fokus khusus pada kapal LPG/C Cipta Diamond, sehingga memberikan kontribusi praktis dalam konteks operasional kapal LPG nasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif teknik fishbone dengan pendekatan studi kasus pada kapal LPG/C Cipta Diamond. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara kinerja *turbocharger* dengan daya mesin induk kapal. Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap parameter operasional mesin di atas kapal, seperti tekanan *boost*, suhu gas buang, serta daya keluaran mesin induk yang dicatat selama periode pengamatan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari engine log book, manual pabrikan mesin, serta referensi teknis dan literatur yang berkaitan dengan *turbocharger* dan efisiensi mesin diesel kapal.

Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi performa *turbocharger* pada saat normal dan saat mengalami penurunan terhadap perubahan daya mesin induk. Hubungan antara tekanan *boost* dan daya mesin kemudian dianalisis serta disajikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mempermudah interpretasi hasil. Selanjutnya, hasil pengamatan dibandingkan dengan temuan penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2020) (Benvenuto & Campora, 2002) (Tadros et al., 2020) (Fernanda et al., 2025) guna memperkuat validitas hasil penelitian serta menemukan kesesuaian pola antara perubahan performa *turbocharger* dan daya mesin induk. Dengan metode ini, diharapkan diperoleh gambaran yang jelas mengenai pengaruh performa *turbocharger* terhadap daya mesin induk kapal LPG/C Cipta Diamond.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung dan studi dokumentasi. Observasi dilakukan di atas kapal LPG/C Cipta Diamond dengan mencatat parameter operasional mesin induk seperti tekanan *boost*, suhu gas buang, dan daya keluaran mesin pada berbagai kondisi beban kerja. Pengamatan ini bertujuan untuk memperoleh data primer mengenai performa aktual *turbocharger* selama operasi. Selain itu, dilakukan pula studi dokumentasi terhadap engine log book, manual pabrikan mesin, serta catatan perawatan (*maintenance record*) yang dimiliki oleh kapal untuk mendapatkan data sekunder yang mendukung hasil observasi. Data tambahan juga diperoleh dari referensi teknis, jurnal ilmiah, dan standar operasional pabrikan *turbocharger* yang relevan, guna memperkuat dasar teoritis dan membandingkan hasil pengamatan di lapangan dengan teori yang sudah ada.

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode analisis kuantitatif dan deskriptif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan perubahan nilai tekanan *boost* terhadap daya mesin induk, untuk mengetahui sejauh mana kinerja *turbocharger* memengaruhi output daya mesin. Hubungan antara kedua variabel ini dianalisis secara numerik dan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan interpretasi. Sedangkan analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan hasil pengamatan secara kualitatif, seperti kondisi fisik *turbocharger*, pola perubahan parameter operasional, serta faktor-faktor penyebab penurunan kinerja. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan dengan mengacu pada teori dan hasil penelitian terdahulu, sehingga diperoleh kesimpulan yang valid mengenai pengaruh performa *turbocharger* terhadap daya mesin induk kapal LPG/C Cipta Diamond.

3. Hasil dan Pembahasan

Lokus penelitian adalah kapal LPG/C Cipta Diamond, Kapal LPG/C Cipta Diamond merupakan salah satu jenis kapal *Liquefied Petroleum Gas Carrier* (LPG Carrier) yang dirancang khusus untuk mengangkut bahan bakar gas cair (LPG) seperti propana dan butana dalam kondisi bertekanan dan bersuhu rendah. Kapal beroperasi dalam pelayaran antar-pulau di Indonesia. Oleh karena itu, efisiensi bahan bakar dan kestabilan daya mesin induk menjadi faktor penting untuk menjaga keberlanjutan operasional kapal. Hal tersebut menuntut kinerja tinggi *turbocharger*, dalam menjaga efisiensi dan stabilitas daya mesin induk selama pelayaran antar-pulau. Oleh sebab itu, pemantauan performa *turbocharger* secara berkala dan penerapan pemeliharaan preventif menjadi aspek penting dalam mendukung keberlanjutan dan keandalan operasional kapal.

Berdasarkan hasil observasi awal, diketahui bahwa performa mesin sering mengalami fluktuasi daya akibat tekanan udara masuk (*boost pressure*) yang tidak stabil, terutama setelah jam kerja mesin mencapai lebih dari 12.000 jam operasi tanpa overhaul. Oleh karena itu, Cipta Diamond menjadi objek penelitian yang relevan untuk menganalisis pengaruh kinerja *turbocharger* terhadap daya mesin induk secara teknis dan operasional. Penelitian ini sangat penting karena kapal jenis ini memiliki profil beban mesin yang dinamis, tergantung pada kondisi muatan, kecepatan, serta kondisi laut. Dengan demikian, setiap penurunan performa *turbocharger* dapat langsung berdampak pada efisiensi bahan bakar, stabilitas pembakaran, dan keandalan sistem propulsi kapal.

3.1 Hasil Observasi Kinerja *Turbocharger*

Berdasarkan hasil observasi langsung di ruang mesin selama periode pelayaran, ditemukan bahwa tekanan udara masuk (*boost pressure*) yang dihasilkan *turbocharger* mengalami fluktuasi antara 1,45 – 1,75 bar, sedangkan pada kondisi normal seharusnya stabil di kisaran 1,8 – 2,0 bar. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa *turbocharger* tidak bekerja secara optimal. Ketika tekanan udara menurun, jumlah udara yang masuk ke ruang bakar berkurang, sehingga proses pembakaran tidak sempurna dan daya mesin induk menurun.

Tabel 1 Perbedaan Mesin Diesel Kapal dengan *Turbocharger* dan Tanpa *Turbocharger*

Parameter	Tanpa <i>Turbocharger</i>	Dengan <i>Turbocharger</i>
Tekanan udara masuk	Rendah	Tinggi
Massa udara masuk	Sedikit	Banyak
Daya indikator (IP)	Lebih rendah	Lebih tinggi
Efisiensi bahan bakar	Lebih boros	Lebih hemat
Ukuran mesin untuk daya yang sama	Lebih besar	Lebih kecil
Cocok untuk	Mesin kecil	Mesin besar dan kapal niaga

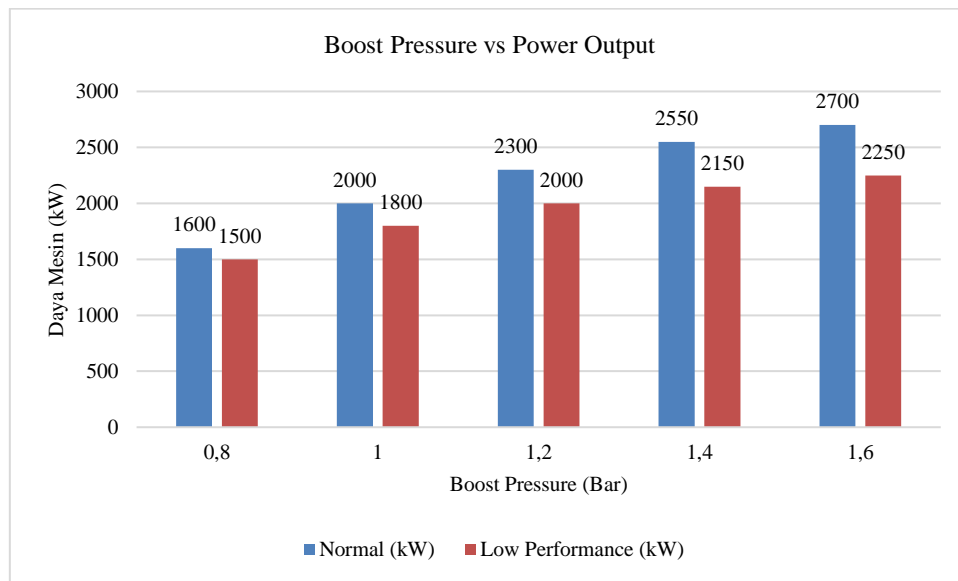
Hasil pengamatan juga menunjukkan adanya kenaikan temperatur gas buang (*exhaust gas temperature*) dari 380°C menjadi 420°C, yang menandakan efisiensi *turbocharger* menurun akibat kemungkinan deposit karbon pada sudu turbin. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menjelaskan bahwa penurunan *boost pressure* lebih dari 10% dari nilai nominal dapat menyebabkan daya mesin turun hingga 12–15%, serta meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Analisis dilakukan dengan membandingkan data tekanan udara masuk (*boost pressure*), temperatur gas buang, dan daya mesin induk (kW). Dari hasil pengolahan data diperoleh tren bahwa setiap penurunan tekanan udara 0,1 bar menyebabkan penurunan daya mesin rata-rata sebesar 3%–4%. Hubungan ini menggambarkan korelasi positif antara kinerja *turbocharger* dengan performa mesin induk. Tekanan udara dan efisiensi volumetrik berbanding lurus dengan nilai daya indikator mesin diesel. Dengan demikian, menjaga performa *turbocharger* tetap optimal berarti menjaga efisiensi pembakaran dan daya mesin induk.

Berdasarkan hasil observasi didapatkan bahwa kinerja *turbocharger* dalam memberikan udara masuk (*boost pressure*) berpengaruh terhadap performa daya mesin induk. Permasalahan pada *turbocharger* akan menyebabkan penurunan performa daya mesin, sebagaimana Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2 Data hasil observasi terhadap tekanan *boost* dalam daya mesin

<i>Boost</i> (bar)	Normal (kW)	<i>Low Performance</i> (kW)
0,8	1600	1500
1	2000	1800
1,2	2300	2000
1,4	2550	2150
1,6	2700	2250



Gambar 3 Data hasil observasi terhadap tekanan *boost* dalam daya mesin

Berdasarkan hubungan antara tekanan *boost* dan daya mesin induk, terlihat bahwa peningkatan tekanan *boost* berbanding lurus dengan peningkatan daya mesin. Pada kondisi normal, setiap kenaikan tekanan *boost* menghasilkan peningkatan daya yang signifikan sehingga kinerja mesin dapat mencapai kapasitas optimal. Namun, ketika terjadi penurunan kinerja pada *turbocharger*, daya mesin yang dihasilkan tidak dapat mencapai nilai maksimum meskipun tekanan dinaikkan. Hal ini menunjukkan bahwa *turbocharger* yang tidak bekerja optimal menyebabkan proses pemampatan udara ke dalam ruang bakar menjadi kurang efektif, sehingga pembakaran bahan bakar tidak berlangsung sempurna. Akibatnya, daya mesin menurun secara nyata pada tekanan *boost* yang sama. Fenomena ini membuktikan bahwa performa *turbocharger* memiliki pengaruh penting terhadap kemampuan mesin dalam menghasilkan daya maksimum. Sementara itu, penurunan tekanan *boost* akibat kerusakan *turbocharger* dapat menurunkan daya mesin hingga 10% serta meningkatkan emisi gas buang. Selain itu, penelitian oleh (Vellaiyan & Amirthagadeswaran, 2017) menyebutkan bahwa kombinasi *turbocharger* dengan sistem EGR mampu menekan emisi tanpa mengurangi daya mesin secara signifikan. Dari berbagai referensi tersebut, dapat disimpulkan bahwa efisiensi *turbocharger* berpengaruh langsung terhadap performa daya mesin induk dan konsumsi bahan bakar kapal. Hal ini sejalan dengan hasil kajian dari berbagai sumber, *turbocharger* memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi mesin diesel kapal. Penggunaan *turbocharger* dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 40% dan menurunkan konsumsi bahan bakar secara signifikan. Kondisi *turbocharger* yang bersih dan terawat mampu menjaga tekanan udara masuk tetap stabil, sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna.

Menjawab permasalahan tentang faktor penyebab penurunan performa *turbocharger*, diketahui bahwa Faktor penyebab tersebut berasal dari berbagai aspek. Diantaranya adalah aspek mesin, metode perawatan, sumber daya manusia, material pendukung, serta lingkungan pengoperasian. Dari aspek mesin, ditemukan bahwa keausan bearing dan kerusakan sudu turbin menyebabkan penurunan kemampuan *turbocharger* dalam memampatkan udara masuk. Kondisi tersebut diduga dipicu oleh jam operasi yang tinggi serta getaran berlebih, sehingga mengganggu kerja komponen internal *turbocharger* (Muhammad Sadeli Ashari et al., 2025). Selain itu, kebocoran pada sistem pipa udara tekan dan penumpukan kerak pada saluran masuk udara juga diketahui menjadi penyebab berkurangnya tekanan *boost* yang dihasilkan (Knežević et al., 2020)

Pada aspek metode, tidak konsistennya jadwal perawatan menyebabkan beberapa komponen mengalami kondisi *overdue maintenance*, sehingga risiko kerusakan meningkat. Dari aspek manusia, terdapat indikasi bahwa kompetensi teknisi dalam menganalisis parameter operasional belum optimal. Beberapa teknisi

kurang melakukan pencatatan menyeluruh terhadap tekanan *boost*, temperatur gas buang, serta getaran mesin, padahal parameter tersebut sangat penting untuk memantau kinerja *turbocharger* secara real time (ABB, 2025). Aspek material juga berperan, khususnya penggunaan pelumas dan bahan bakar yang kualitasnya tidak sesuai

spesifikasi pabrikan menyebabkan penumpukan karbon pada turbin, sehingga menurunkan efisiensi proses kompresi udara. Dari aspek lingkungan, temperatur ruang mesin yang cenderung tinggi serta kualitas udara masuk yang buruk turut menghambat performa *turbocharger*. Kondisi panas mempercepat degradasi pelumas dan memperbesar friksi pada bearing, sementara udara masuk yang berdebu meningkatkan risiko kontaminasi sudu kompresor. Berdasarkan analisis tersebut, seluruh faktor ini berperan saling terkait dalam menentukan performa *turbocharger*.

Analisis juga dilakukan untuk mengetahui Dampak penurunan kinerja *turbocharger* terhadap daya mesin induk. Dampak penurunan kinerja *turbocharger* terhadap daya mesin induk telah dijelaskan melalui analisis grafik hubungan antara tekanan *boost* dan daya mesin. Dari data operasional yang diamati, terlihat bahwa penurunan tekanan *boost* berbanding lurus dengan turunnya daya mesin. Hal ini terjadi karena berkurangnya massa udara yang masuk ke ruang bakar menurunkan tekanan efektif rata-rata (P_{me}), sehingga proses pembakaran tidak berlangsung optimal dan daya indikatif mesin menurun.

Penurunan tekanan *boost* sebesar 0,1–0,2 bar dapat mengurangi daya hingga sekitar 3–7% tergantung beban operasional mesin. Selain penurunan daya, ditemukan pula peningkatan konsumsi bahan bakar dan kenaikan temperatur gas buang (EGT). Peningkatan EGT dari 380°C menjadi 420°C mengindikasikan peningkatan incomplete combustion akibat berkurangnya suplai udara. Kondisi ini juga berpotensi meningkatkan emisi gas buang seperti NO_x, CO, dan hidrokarbon (HC), sehingga dapat membahayakan lingkungan dan merusak komponen turbin secara bertahap.

Sebaliknya, penurunan kinerja *turbocharger* menyebabkan:

1. Daya mesin induk menurun,
2. Konsumsi bahan bakar meningkat,
3. Temperatur gas buang naik,
4. Efisiensi pembakaran menurun,
5. Emisi gas buang meningkat (NO_x dan CO).

Di sisi teoritis, hubungan penurunan performa *turbocharger* terhadap daya mesin dijelaskan melalui rumus daya indikator (*Indicated Power*). Penurunan tekanan udara masuk mengurangi nilai tekanan efektif rata-rata, yang pada gilirannya menurunkan daya indikator (IP) dan daya efektif mesin (N_e). Hal ini menunjukkan bahwa *turbocharger* memiliki peran vital dalam meningkatkan efisiensi volumetrik mesin diesel, karena suplai udara bertekanan yang cukup sangat menentukan kualitas pembakaran dan *output* tenaga (Heywood, 2002) (Payri et al., 2009). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penurunan kinerja *turbocharger* menyebabkan penurunan signifikan terhadap daya mesin, efisiensi pembakaran, dan stabilitas operasi mesin induk kapal. Penurunan performa *turbocharger* secara langsung menurunkan daya mesin induk, menambah konsumsi bahan bakar, dan menurunkan efisiensi pembakaran.

Langkah berikutnya adalah melaksanakan tindakan untuk mengatasi penurunan performa *turbocharger*. Berdasarkan analisis yang dilakukan, tindakan pencegahan terhadap penurunan performa *turbocharger* dapat dilakukan melalui pemeliharaan preventif, *monitoring* parameter kerja, serta peningkatan kemampuan teknis. Pemeliharaan preventif meliputi pembersihan rutin jalur udara masuk dan intercooler, pemeriksaan bearing dan seal *turbocharger*, serta overhaul berkala yang disarankan setiap 8.000–10.000 jam operasi (ABB, 2025). Selain itu, *monitoring* terhadap parameter tekanan *boost*, temperatur gas buang, dan konsumsi bahan bakar perlu dilakukan secara teratur dan dicatat dalam log book sebagai data historis untuk mengidentifikasi tren penurunan performa. Dari sisi sumber daya manusia, peningkatan pelatihan teknis menjadi hal penting agar operator dapat melakukan diagnosis awal terhadap gejala penurunan kinerja *turbocharger*, seperti penurunan tekanan *boost*, suara abnormal, dan peningkatan temperatur EGT. Dalam beberapa kasus, penggunaan sistem *real-time monitoring* disarankan untuk meningkatkan responsivitas terhadap potensi kegagalan, sehingga kerusakan dapat diminimalkan dan efektivitas operasional kapal tetap terjaga (ABB, 2025). Dengan rangkaian tindakan tersebut, performa *turbocharger* dapat dipertahankan pada kondisi optimal, sehingga daya mesin induk tetap stabil selama kapal beroperasi. Secara keseluruhan, penelitian telah menjawab seluruh rumusan masalah dengan baik. Faktor penyebab penurunan kinerja *turbocharger* berhasil diidentifikasi melalui analisis fishbone, dampaknya terhadap daya mesin telah dijelaskan melalui analisis data tekanan *boost* dan daya indikator, serta tindakan pemulihan performa *turbocharger* telah dipaparkan secara teknis dan operasional. Temuan ini menegaskan bahwa kondisi *turbocharger* sangat berpengaruh terhadap stabilitas dan efisiensi operasional mesin induk kapal LPG/C Cipta Diamond, sehingga pemantauan dan pemeliharaan berkelanjutan menjadi hal yang sangat penting dalam

operasional kapal. Solusi teknis dan manajerial berupa program perawatan, monitoring, dan peningkatan kompetensi SDM guna mencegah penurunan kinerja *turbocharger* dan menjaga daya mesin tetap optimal. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja *turbocharger* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya mesin induk kapal LPG/C Cipta Diamond. Oleh karena itu, pengawasan kondisi *turbocharger* dan penerapan pemeliharaan preventif menjadi langkah penting untuk menjaga efisiensi dan keandalan operasional kapal.

Tabel 3 merupakan ringkasan dalam menjawab permasalahan yang diobservasi dalam penelitian ini:

Tabel 3 Hasil Observasi Faktor dan Dampak

Faktor yang memengaruhi kinerja <i>turbocharger</i>	Faktor mesin, metode, manusia, material, dan lingkungan yang diuraikan dalam analisis Fishbone
Dampak dari penurunan kinerja <i>turbocharger</i>	Penurunan daya mesin, efisiensi pembakaran, dan kenaikan konsumsi bahan bakar serta emisi
Tindakan untuk menjaga performa <i>turbocharger</i>	Pemeliharaan rutin, monitoring parameter kerja, perawatan komponen, dan pelatihan teknisi

Tindakan preventif *turbocharger* menjadi kunci utama dalam menjaga performa mesin induk kapal. Disarankan agar dilakukan pembersihan turbin setiap 2000 jam operasi dan overhaul penuh setiap 8.000–10.000 jam operasi, sebagaimana direkomendasikan oleh ABB *Turbocharging*.

3.2 Analisis Menggunakan Fishbone Diagram

Untuk mengidentifikasi penyebab utama penurunan daya mesin, digunakan metode analisis *Fishbone* (Ishikawa Diagram). Hasil analisis menunjukkan bahwa akar masalah berasal dari beberapa faktor berikut:

1. Faktor Mesin (Machine): Keausan pada poros dan bearing *turbocharger*, kebocoran pada sistem pipa udara tekan.
2. Faktor Metode (Method): Jadwal perawatan *turbocharger* yang tidak teratur, pembersihan filter udara tidak dilakukan rutin.
3. Faktor Manusia (Man): Kurangnya pengawasan teknisi terhadap kenaikan temperatur gas buang.
4. Faktor Material (Material): Penumpukan deposit karbon pada turbin akibat kualitas bahan bakar rendah.
5. Faktor Lingkungan (Environment): Kelembapan dan suhu tinggi di ruang mesin yang mempercepat korosi dan kontaminasi udara masuk.

Analisis ini diperkuat oleh hasil penelitian bahwa keausan bantalan, kerusakan kompresor, dan pengotoran turbin merupakan penyebab utama penurunan efisiensi *turbocharger* di kapal niaga. Hasil analisis tersebut dituangkan sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4 Analisis Fishbone Penurunan Performa *Turbocharger*

Masalah utama dalam penurunan performa *turbocharger* yang disebabkan oleh keausan bantalan, dan kerusakan turbin. Metode yang tidak dijalankan terkait jadwal perawatan tidak teratur. Faktor human terkait kurangnya keterampilan teknisi, sedangkan dari environment suhu gas buang tinggi, kualitas udara masuk buruk. Material dalam pelumas tidak sesuai dengan standar kualitas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai Analisis Pengaruh Kinerja *Turbocharger* terhadap Daya Mesin Induk pada Kapal LPG/C Cipta Diamond, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: a. Faktor-faktor yang memengaruhi kinerja *turbocharger* meliputi kondisi fisik komponen seperti turbin dan bearing, kebersihan saluran udara, suhu gas buang, serta kualitas pelumas yang digunakan. Selain itu, faktor manusia dan jadwal pemeliharaan juga memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas kinerja *turbocharger*. B. Dampak dari penurunan performa *turbocharger* adalah turunnyanya tekanan udara masuk (*boost pressure*) ke ruang bakar, yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Hal ini mengakibatkan daya mesin induk berkurang, konsumsi bahan bakar meningkat, dan suhu gas buang menjadi lebih tinggi, yang berpotensi mempercepat kerusakan komponen mesin lainnya. c. Tindakan untuk mengatasi penurunan performa *turbocharger* meliputi penerapan pemeliharaan rutin seperti pembersihan filter udara, pengecekan tekanan dan temperatur gas buang, penggantian komponen aus seperti bearing atau seal, serta penggunaan sistem monitoring tekanan udara dan suhu untuk mendeteksi penurunan performa sejak dini. Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut: a. Bagi pihak teknis kapal, disarankan untuk melakukan pemantauan tekanan *boost* dan temperatur gas buang secara rutin serta mencatat data performa *turbocharger* dalam engine log book agar penurunan performa dapat dideteksi lebih awal. b. Bagi manajemen perusahaan pelayaran, perlu disusun jadwal pemeliharaan preventif *turbocharger* secara berkala serta pelatihan teknisi kapal mengenai teknik perawatan dan identifikasi gejala awal kerusakan *turbocharger*. c. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk menambahkan analisis menggunakan parameter lain seperti konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Oil Consumption-SFOC*) dan efisiensi termal mesin, agar hasil penelitian lebih komprehensif dalam menggambarkan hubungan antara *turbocharger* dan daya mesin induk.

Referensi

1. ABB. (2025). *ABB turbocharging system*. <https://Global.Abb/Group/En/Technology/Did-You-Know/Turbocharger>.
2. Anantharaman, M., Islam, T. M., Garaniya, V., Khan, F., & Alauddin, M. (2021). Impact of Defective Turbocharging System on the Safety and Reliability of Large Marine Diesel Engine. *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15, 189–194. <https://doi.org/10.12716/1001.15.01.19>
3. Benvenuto, G., & Campora, U. (2002). Dynamic simulation of a high-performance sequentially turbocharged marine diesel engine. *International Journal of Engine Research*, 3(3). <https://doi.org/10.1243/14680870260189244>
4. Fernanda, M. R., Kristiyono, A. E., Gunarti, M. R., Robbi, S. D., & Prawoto, A. (2025). Analisis Menurunnya Kinerja Turbocharger Pada Mesin Diesel Generator di Kapal MV. Meratus Sibolga. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(3), 4788–4796. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2696>
5. Hatami, M., Ganji, D. D., & Gorji-Bandpy, M. (2014). A review of different heat exchangers designs for increasing the diesel exhaust waste heat recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 168–181. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.004>
6. Heywood, J. (2002). Internal combustion engine fundamentals, 1988. In *Environmental Protection* (Vol. 21).
7. Knežević, V., Orović, J., Stazić, L., & Čulin, J. (2020). Fault Tree Analysis and Failure Diagnosis of Marine Diesel Engine Turbocharger System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 1004. <https://doi.org/10.3390/jms8121004>
8. M. Hassan, M. H., & Kamal Elsemmar, I. A. (2024). Liquefied Natural and Petroleum Gas Carriers: An Analysis of the Potential Dangers, Safety Measures and Risk Factors. *AIN Journal*, 47(1). <https://doi.org/10.59660/47122>
9. Michail, N. A., & Melas, K. D. (2022). Geopolitical Risk and the LNG-LPG Trade. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, 28(3), 243–265. <https://doi.org/10.1515/peps-2022-0007>
10. Muhammad Sadeli Ashari, Shofa Dai Robbi, Wulan Marlia Sandi, Antonius Edy Kristiyono, & Agus Prawoto. (2025). Analisis Kerusakan Bearing Turbine Side di Turbocharger Type VTR-160 pada Auxiliary Engine. *Impression : Jurnal Teknologi Dan Informasi*, 4(1), 39–49.
11. Payri, F., Bermúdez, V. R., Tormos, B., & Linares, W. G. (2009). Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts. *Atmospheric Environment*, 43(6). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.11.029>
12. Peng, Q., Liu, R., Zhou, G., Zhao, X., Dong, S., Zhang, Z., & Zhang, H. (2023). Summary of Turbocharging as a Waste Heat Recovery System for a Variable Altitude Internal Combustion Engine. In *ACS Omega* (Vol. 8, Issue 31). <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02818>
13. Stopford, M. (2013). *Maritime Economics*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203442661>
14. Tadros, M., Ventura, M., & Guedes Soares, C. (2019). Optimization procedure to minimize fuel consumption of a four-stroke marine turbocharged diesel engine. *Energy*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.146>
15. Tadros, M., Ventura, M., Guedes Soares, C., & Lampreia, S. (2020). Predicting the performance of a sequentially turbocharged marine diesel engine using anfis. *Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies - Proceedings of the 18th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, IMAM 2019*. <https://doi.org/10.1201/9780367810085-39>
16. Vellaiyan, S., & Amirhagadeswaran, K. S. (2017). Emission characteristics of water-emulsified diesel fuel at optimized engine operation condition. *Petroleum Science and Technology*, 35(13), 1355–1363. <https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1330348>
17. Zhang, H., Shi, L., Deng, K., Liu, S., & Yang, Z. (2020). Experiment investigation on the performance and regulation rule of two-stage turbocharged diesel engine for various altitudes operation. *Energy*, 192, 116653. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116653>