

**ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B
DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH**



Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program
Pendidikan Dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I.

DAUD DUMA' TIRANDA
NIS. 25.09.102.009
AHLI TEKNIKA TINGKAT I

**PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I POLITEKNIK ILMU
PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DAUD DUMA' TIRANDA

Nomor Induk Perwira Siswa : 25.09.102.009

Jurusan : Ahli Teknik Tingkat I

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH

merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 19 November 2025



DAUD DUMA' TIRANDA
25.09.102.009

**PERSETUJUAN SEMINAR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : **ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME
CAT C32B DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH**

Nama Pasis : DAUD DUMA' TIRANDA

NIS : 25.09.102.009

Program Diklat : Ahli Teknika Tingkat I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk di seminar kan

Makassar, 19 November 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P

NIP. 197604092006041001



Ir. Akhmad Harahap S.Si.T., M.Mar.E

NIP.

Mengetahui:

MANAGER DIKLAT TEKNIS,
PENINGKATAN DAN PENJENJANGAN



Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E

NIP. 196805082002121002

**ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B
DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH**

Disusun dan Diajukan Oleh

DAUD DUMA' TIRANDA
NIS. 25.09.102.009

Ahli Teknika Tingkat I

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian KIT
Pada Tanggal 19 November 2025



Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P

NIP. 197604092006041001

Ir. Akhmad Harahap S.Si.T.,M.Mar.E

NIP.

Mengetahui:

An. Direktur

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Pembantu Direktur 1

Capt. Faisal Saransi, MT., M.Mar

NIP. 197303291999031002

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia- Nya, penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah terapan ini yang berjudul "ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH", meski pun dalam keterbatasan waktu dan berbagai tantangan. Penyusunan karya tulis ini adalah bagian dari syarat kelulusan kurikulum Diklat Teknik Profesi Kepelautan, Program Studi Teknika Tingkat I, guna mencapai kompetensi pelaut sebagai pemegang Sertifikat Ahli Teknika Tingkat I (ATT – I) di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna, terutama dalam keterbatasan teori dan tata bahasa yang benar. Dengan demikian, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd., selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
2. Bapak Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E., selaku Manager Diklat Teknis, Peningkatan, dan Penjenjangan di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
3. Bapak Ir. Alberto , S.Si.T., M.Mar. E., M.A.P selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dengan sabar dan teliti.
4. Bapak Ir. Akhmad Harahap S.Si.T.,M.Mar.E selaku pembimbing II yang juga dengan kesabaran membimbing dalam penyusunan karya ini.
5. Seluruh dosen dan staf Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
6. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, cinta, dan doa.
7. Rekan-rekan peserta Diklat ATT I /2025.
8. Semua pihak yang telah membantu, namun tidak bisa disebutkan satu

per satu.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada orang tua dan keluarga yang selalu memberikan cinta, dukungan, serta doa. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh dosen, staf, serta rekan-rekan pasis di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan motivasi dan dorongan selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Tak lupa, penghargaan juga diberikan

kepada pihak-pihak lain yang telah membantu, namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ilmiah ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi pembaca, khususnya yang berkecimpung di bidang kelautan, serta dapat menjadi referensi yang bermanfaat di dunia pelayaran..

Makassar 19 November 2025



DAUD DUMA' TIRANDA

NIS. 25.09.102.009

ABSTRAK

DAUD DUMA' TIRANDA 2025, "ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B DI ATAS KAPAL MV AL THEEBEH". Dibimbing oleh Bapak Ir. Alberto , S.Si.T., M.Mar. E., M.A.P dan Bapak Ir. Akhmad Harahap S.Si.T.,MT., M..Mar.E

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan penurunan efektivitas kinerja main engine (ME) tipe CAT C32B pada kapal MV. AL THEEBEH. Penurunan performa mesin utama dapat mengakibatkan terganggunya jadwal pelayaran, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan risiko kerusakan lanjutan pada komponen lain. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab utama kerusakan ring piston yang berdampak langsung pada penurunan kinerja main engine, sehingga dapat dirumuskan tindakan pencegahan yang tepat.

Penelitian dilaksanakan di atas kapal MV.AL THEEBEH saat penulis bertugas sebagai 2nd Engineer. Kejadian terjadi pada tanggal 22 April 2025 dalam pelayaran penuh (full away) dari Saudi Arabia. Situasi kondisi menunjukkan kenaikan temperatur gas buang pada silinder 2 dan 3 mencapai 455–460 °C, disertai penurunan tekanan kompresi dan peningkatan konsumsi pelumas. Pemeriksaan fisik ring piston menemukan adanya retakan dan patahan akibat penggunaan melebihi batas running hours.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab dominan kerusakan adalah ring piston yang sudah melewati batas umur pakai rekomendasi pabrikan sebesar 12.000 jam. Faktor pendukung lain berupa kualitas bahan bakar yang tidak optimal sehingga mempercepat keausan komponen. Kesimpulan penelitian menekankan pentingnya penggantian ring piston secara berkala dan pengawasan kualitas bahan bakar. Saran utama adalah pelaksanaan jadwal perawatan preventif yang lebih disiplin untuk menjaga performa mesin.

Kata Kunci: Main Engine, Ring Piston, Running Hours

ABSTRACT

DAUD DUMA' TIRANDA 2025, "ANALYSIS OF THE INEFFECTIVENESS OF THE CAT C32B MAIN ENGINE PERFORMANCE ON BOARD MV. AL THEEBEH." Supervised by Mr. Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P. and Mr. Akhmad Harahap S.Si.T.,MT., M..Mar.E

This research was motivated by the problem of declining effectiveness of the CAT C32B main engine (ME) performance on board MV. AL THEEBEH. The reduction in main engine performance can disrupt the sailing schedule, increase fuel consumption, and create the risk of further damage to other components. The purpose of this research was to analyze the main causes of piston ring failure, which directly led to the decline in main engine performance, so that appropriate preventive measures could be formulated.

The research was carried out on board MV. AL THEEBEH while the author was serving as 2nd Engineer. The incident occurred on May 6th, 2025, during full away voyage from Saudi Arabia. The condition showed a rise in exhaust gas temperature in cylinders 2 and 3, reaching 455–460 °C, accompanied by a decrease in compression pressure and an increase in lubricating oil consumption. A physical inspection of the piston rings revealed cracks and fractures due to usage beyond the recommended running hours limit.

The analysis results indicated that the dominant cause of damage was the piston rings exceeding the manufacturer's recommended service life of 12,000 running hours. Another contributing factor was suboptimal fuel quality, which accelerated component wear. The research conclusion emphasized the importance of replacing piston rings periodically and monitoring fuel quality. The main recommendation is the implementation of a more disciplined preventive maintenance schedule to maintain engine performance.

Keywords: Main Engine, Piston Ring, Running Hours.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN SAMBUT | i |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Batasan Masalah | 3 |
| D. Tujuan Penelitian | 3 |
| E. Manfaat Penelitian | 3 |
| F. Hipotesis | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| A. Pengertian Main Engine (Mesin Diesel) | 5 |
| B. Komponen Utama dan cara kerja Mesin Diesel | 9 |
| C. Pengertian Ring Piston | 13 |
| D. Jenis-Jenis Ring Piston dan Fungsinya | 16 |
| E. Indikator Gangguan Pada Main Engine | 19 |
| F. Dampak Kerusakan Ring Piston terhadap Performa Mesin | 21 |
| G. Strategi Pencegahan Kerusakan Ring Piston pada Main Engine | 22 |
| H. Kerangka Pikir Penelitian | 24 |
| BAB III ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 25 |
| A. Lokasi Kejadian | 25 |
| B. Situasi dan Kondisi | 26 |

| | |
|---|----|
| C. Penurunan Efektivitas Kinerja Main Engine (ME) | 27 |
| D. Patahnya Ring Piston | 31 |
| E. Penyebab Patahnya Ring Piston | 33 |
| F. Pembahasan | 35 |
| BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN | 39 |
| A. Kesimpulan | 39 |
| B. Saran | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | 40 |
| LAMPIRAN | 42 |
| RIWAYAT HIDUP | 47 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1 Langkah Pembilasan | 6 |
| Gambar 2 Langkah Kompresi dan Usaha | 7 |
| Gambar 3 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Langkah | 8 |
| Gambar 4 Piston | 9 |
| Gambar 5 Batang Torak | 10 |
| Gambar 6 Crankshaft | 10 |
| Gambar 7 Camshaft | 11 |
| Gambar 8 Cylinder Liner | 11 |
| Gambar 9 Flywheel | 12 |
| Gambar 10 Ring Kompresi Pertama | 16 |
| Gambar 11 Ring Kompresi Kedua | 17 |
| Gambar 12 Ring Pelumas | 18 |
| Gambar 13 Mesin induk | 32 |
| Gambar 14 Kerusakan pada Ring Piston | 34 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1 Ship Particular MV. AL THEEBEH | 25 |
| Tabel 2 Main Engine Specification AL THEEBEH | 26 |
| Tabel 3 Data Operasional AE Kondisi Normal | 28 |
| Tabel 4 Data Operasional ME Kondisi Abnormal | 28 |
| Tabel 5 Data Operasional ME Kondisi Setelah Perbaikan | 29 |
| Tabel 6 Parameter Mesin Induk Kapal MV. AL THEEBEH | 30 |
| Tabel 7 Data Running Hours Ring Piston Silinder Main Engine | 34 |
| Tabel 8 Khusus Perawatan Ring Piston | 38 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Main Engine (ME) tipe CAT C32B merupakan salah satu jenis Medium-speed diesel engine yang banyak digunakan pada kapal utility boat modern karena karakteristiknya yang andal, torsi besar pada putaran rendah, serta efisiensi konsumsi bahan bakar. Mesin ini bekerja dengan prinsip pembakaran internal di mana bahan bakar minyak berat (Heavy Fuel Oil) diinjeksikan ke ruang bakar pada tekanan tinggi dan suhu optimal untuk menghasilkan daya dorong utama kapal. Proses pembakaran yang sempurna pada tiap silinder sangat menentukan performa mesin secara keseluruhan, termasuk kestabilan putaran, tekanan pembakaran puncak, serta temperatur gas buang yang seimbang antar silinder.

Efektivitas kinerja main engine ditentukan oleh beberapa faktor penting, antara lain kualitas bahan bakar, kondisi sistem injeksi bahan bakar, penyetelan waktu pengapian, kebersihan ruang bakar, dan sistem pendinginan. Ketidak seimbangan salah satu faktor tersebut dapat menimbulkan gangguan pembakaran yang memicu kenaikan temperatur gas buang. Temperatur gas buang yang terlalu tinggi menjadi salah satu indikator awal kerusakan komponen internal, seperti nozzle injector, katup buang, atau ring piston.

Dalam teori perawatan mesin diesel, peran kualitas bahan bakar sangat krusial karena bahan bakar berkualitas buruk berpotensi mengandung residu, sulfur tinggi, atau kandungan air yang mempengaruhi pembentukan deposit karbon di ruang bakar. Akumulasi deposit karbon mengganggu proses atomisasi bahan bakar dan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, sehingga temperatur gas buang akan naik secara signifikan. Jika kondisi ini berlangsung tanpa tindakan perbaikan, kerusakan komponen mesin menjadi tidak terhindarkan.

Menurut literatur teknik permesinan kapal, kerusakan ring piston akan berdampak pada kebocoran gas pembakaran ke crankcase, penurunan tekanan kompresi silinder, serta peningkatan konsumsi pelumas. Kondisi ini bukan hanya menurunkan daya mesin, tetapi juga memicu kontaminasi pelumas dan potensi kerusakan lebih luas pada liner maupun piston itu sendiri. Oleh sebab itu, deteksi dini melalui pengamatan parameter gas buang menjadi langkah penting dalam pencegahan kerusakan.

Prosedur monitoring suhu gas buang dan analisis performa main engine telah menjadi standar operasional pada kapal-kapal berbendera internasional. Dengan melakukan pencatatan rutin temperatur gas buang per silinder, tekanan pembakaran, serta parameter lainnya, engineer dapat mengidentifikasi tren penurunan performa mesin sebelum kerusakan serius terjadi. Namun, dalam praktiknya, kualitas bahan bakar yang bervariasi dan tekanan kerja operasional yang tinggi sering menjadi tantangan utama dalam menjaga performa mesin secara optimal.

Pada tanggal 22 April 2025, saat kapal MV. AL THEEBEH beroperasi di perairan Saudi Arabia, terjadi gejala awal kenaikan temperatur gas buang pada silinder nomor 2 dan 3. Kenaikan suhu tersebut terpantau melalui sistem monitoring engine room dan tercatat meningkat di atas batas normal operasi.

Dalam waktu singkat, kenaikan suhu gas buang yang tidak tertangani memicu kerusakan lebih lanjut, berupa patahnya ring piston silinder nomor 2 dan 3. Patahnya ring piston tersebut berdampak pada kebocoran gas pembakaran ke ruang crankcase dan penurunan drastis efektivitas kinerja main engine. Akibatnya, kecepatan kapal menurun dan konsumsi bahan bakar meningkat di luar batas normal. Indikasi ini segera dilaporkan kepada 2nd Engineer untuk dilakukan pengecekan mendalam.

Oleh karena itulah, saya sebagai 2nd Engineer yang bertugas langsung pada saat kejadian menuangkan permasalahan tersebut

dalam bentuk karya tulis ilmiah dengan judul: **“ANALISIS KURANG EFEKTIFNYA KINERJA ME CAT C32B DI ATAS KAPAL MV. AL THEEBEH”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan untuk menjawab pertanyaan utama berikut:

Apa faktor penyebab utama penurunan efektivitas kinerja main engine CAT C32B pada kapal MV. AL THEEBEH?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan mendalam, maka batasan masalah dalam karya tulis ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Analisis difokuskan pada kejadian peningkatan suhu gas buang pada silinder no 2 dan 3 pada main engine CAT C32B.
2. Penelitian hanya membahas kerusakan pada ring piston silinder 2 dan 3 main engine CAT C32B.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman teknis mengenai gangguan performa pada main engine kapal akibat proses pembakaran yang tidak sempurna. Adapun tujuan spesifik dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi penyebab utama kerusakan ring piston yang ditandai dengan kenaikan temperatur gas buang pada main engine CAT C32B.
2. Menjelaskan dampak gangguan tersebut terhadap efektivitas kerja mesin dan operasional kapal MV. AL THEEBEH.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis
 - a. Menjadi referensi ilmiah mengenai hubungan antara kualitas perawatan dan performa mesin diesel tipe CAT C32B.
 - b. Memberikan sumbangan kajian teknis dalam bidang perawatan

dan diagnosis kerusakan main engine kapal.

2. Manfaat praktis

- a. Memberikan informasi teknis bagi kru kapal dalam mendeteksi dan menangani gejala awal kerusakan mesin.
- b. Menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan teknis untuk mencegah kerusakan serupa di masa mendatang.

F. Hipotesis

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan, hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diduga menurunnya efektivitas kinerja main engine CAT C32B di kapal MV. AL THEEBEH disebabkan oleh patahnya ring piston.
2. Diduga tingginya running hours ring piston menyebabkan kelelahan material pada ring piston sehingga mengalami patah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Main Engine (Mesin Diesel)

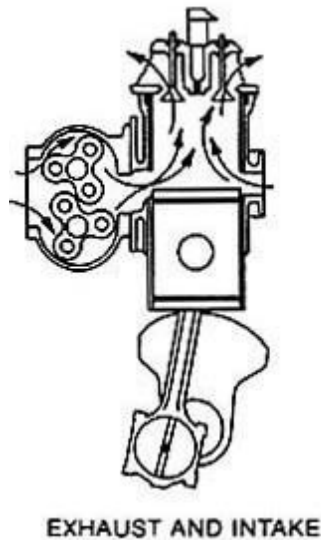
Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar diesel untuk menghasilkan energi mekanik melalui proses pembakaran. Mesin ini ditemukan oleh Rudolf Diesel pada akhir abad ke-19, dan sejak itu, mesin diesel telah banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, termasuk transportasi laut, darat, dan pembangkit listrik. Mesin diesel berbeda dengan mesin bensin dalam hal cara kerjanya, terutama pada proses pembakaran bahan bakar. Pada mesin diesel, udara dikompresi dengan sangat rapat sehingga suhunya meningkat drastis, dan ketika bahan bakar diesel disemprotkan ke dalam ruang bakar, bahan bakar tersebut akan terbakar karena suhu udara yang sangat tinggi. Keunggulan mesin diesel terletak pada efisiensinya yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin, serta torsi yang lebih besar pada putaran rendah Budiyanto, B. (2017).

Mesin diesel umumnya digunakan pada kendaraan berat seperti truk, kapal, dan kereta api, serta pada mesin-mesin industri yang memerlukan tenaga besar. Salah satu alasan utama penggunaan mesin diesel adalah kemampuannya untuk menghasilkan tenaga yang lebih besar dengan konsumsi bahan bakar yang lebih efisien. Meskipun demikian, mesin diesel juga memiliki beberapa kekurangan, seperti emisi gas buang yang lebih tinggi dan tingkat kebisingan yang lebih besar dibandingkan mesin bensin. Mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip pembakaran udara yang dikompresi, berbeda dengan mesin bensin yang menggunakan busi untuk memicu pembakaran. Mesin diesel memiliki dua jenis siklus kerja utama, yaitu siklus dua langkah dan siklus empat langkah, yang akan dibahas lebih lanjut dalam bagian ini.

1. Siklus Dua Langkah

Siklus dua langkah pada mesin diesel adalah siklus kerja di mana proses pembakaran dan pembuangan gas bekas dilakukan dalam dua langkah perputaran poros engkol. Dalam siklus ini, satu kali putaran poros engkol menghasilkan dua langkah kerja mesin: langkah kompresi dan langkah ekspansi. Mesin dua langkah memiliki keuntungan dalam hal kesederhanaan desain dan kinerja yang lebih efisien dalam beberapa aplikasi tertentu, seperti pada mesin kapal atau mesin industri berat. Pada siklus dua langkah, proses pengambilan udara dan pembuangan gas bekas dilakukan pada saat piston bergerak ke bawah, sehingga tidak ada langkah terpisah untuk proses pengambilan udara Sari, D., & Wicaksono, A. (2019).

Gambar 1 Langkah Pembilasan

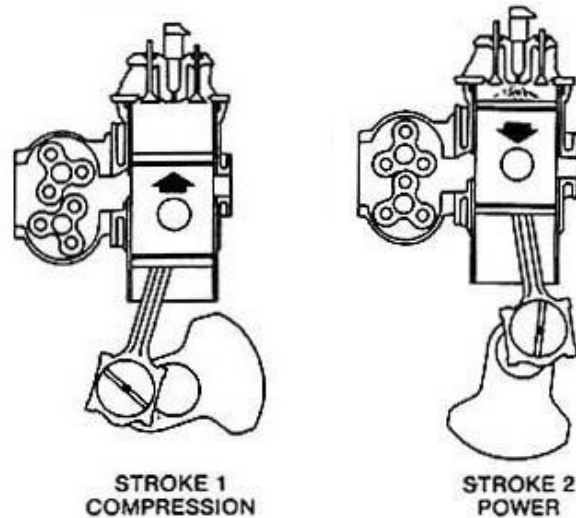


Sumber: Sari, D., & Wicaksono, A. (2019).

Pada siklus dua langkah, proses pertama dimulai dengan kompresi udara dalam silinder oleh piston yang bergerak ke atas. Pada saat piston mencapai titik tertinggi (TDC - Top Dead Center), bahan bakar diesel disemprotkan ke dalam ruang bakar dengan tekanan tinggi. Karena udara sudah sangat terkompresi dan suhunya sangat tinggi, bahan bakar akan langsung terbakar. Proses

pembakaran ini menghasilkan gas panas yang memperluas ruang mesin dan mendorong piston ke bawah, menghasilkan tenaga mekanik .

Gambar 2 Langkah Kompresi dan Usaha



Sumber: Sari, D., & Wicaksono, A. (2019).

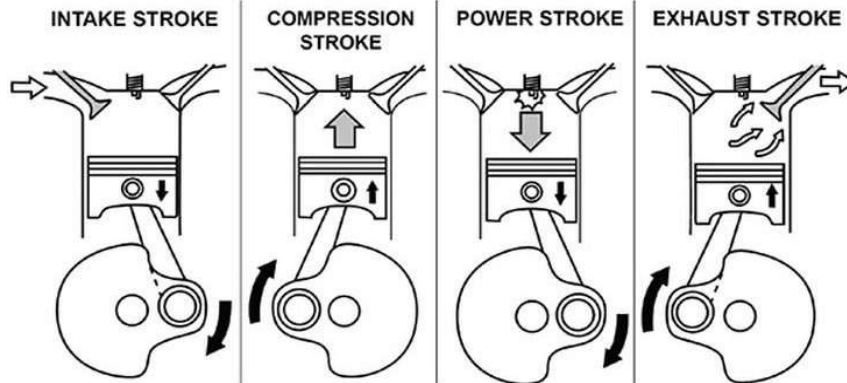
Proses kedua terjadi ketika piston bergerak ke bawah, gas bekas pembakaran dikeluarkan melalui port pembuangan yang terletak di bagian bawah silinder. Pada saat yang sama, udara segar masuk melalui port masuk yang terletak di bagian bawah silinder. Proses ini berulang terus-menerus dalam dua langkah putaran poros engkol, sehingga meskipun lebih sederhana, mesin ini dapat menghasilkan tenaga yang lebih banyak dibandingkan dengan mesin empat langkah dalam satu siklus.

2. Siklus 4 Langkah

Siklus empat langkah pada mesin diesel adalah siklus kerja yang melibatkan empat langkah perputaran poros engkol, yaitu langkah isap, kompresi, ekspansi, dan pembuangan. Mesin empat langkah lebih kompleks dibandingkan dengan mesin dua langkah karena setiap langkah memerlukan satu putaran penuh dari poros engkol. Siklus ini lebih umum digunakan pada mesin diesel untuk kendaraan, pembangkit listrik, dan peralatan industri. Keuntungan

dari siklus empat langkah adalah efisiensi pembakaran yang lebih baik dan pengaturan gas buang yang lebih terkendali, sehingga emisi dapat lebih diminimalkan Maulana, I., & Handoko, T. (2020).

Gambar 3 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Langkah



Sumber: Maulana, I., & Handoko, T. (2020)

Pada siklus empat langkah, pertama-tama udara segar masuk ke dalam ruang bakar melalui katup isap selama langkah isap. Piston bergerak ke bawah pada langkah ini, dan katup isap terbuka untuk memungkinkan udara masuk ke dalam silinder. Setelah udara masuk, katup isap tertutup dan piston bergerak ke atas untuk mengompresi udara tersebut. Kompresi ini meningkatkan suhu dan tekanan udara dalam silinder.

Selanjutnya, pada langkah ketiga (langkah ekspansi), bahan bakar diesel disemprotkan ke dalam ruang bakar yang telah terkompresi, dan pembakaran terjadi karena suhu udara yang sangat tinggi. Pembakaran ini menghasilkan gas panas yang memperluas ruang mesin dan mendorong piston ke bawah, menghasilkan tenaga mekanik. Pada langkah terakhir (langkah pembuangan), katup buang terbuka dan piston bergerak ke atas untuk mengeluarkan gas bekas pembakaran dari ruang bakar. Siklus ini terus berulang setiap dua putaran poros engkol Rahman, R., & Putra, S. (2018).

Siklus empat langkah pada mesin diesel memungkinkan untuk pengaturan aliran gas yang lebih efisien, dan proses pembakaran dapat berlangsung lebih optimal. Setiap langkah memiliki fungsi

spesifik yang memungkinkan mesin untuk bekerja dengan efisien dan mengurangi pemborosan energi. Mesin dengan siklus empat langkah umumnya lebih kompleks dan memerlukan perawatan yang lebih teratur dibandingkan dengan mesin dua langkah. Namun, mesin ini lebih efisien dalam mengelola pembakaran dan gas buang, serta lebih ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi yang dihasilkan.

B. Komponen Utama dan cara kerja Mesin Diesel

1. Komponen Utama

a. Piston dan Ring Piston

Piston merupakan komponen utama yang bergerak naik-turun di dalam silinder, mentransfer tekanan gas hasil pembakaran menjadi gerak mekanis. Piston ring, yang terdiri dari compression ring dan oil control ring, menjaga agar gas pembakaran tidak bocor ke ruang engkol, sekaligus mengatur pelumasan dinding silinder Sutrisno, A. (2016). Kinerja piston ring yang tidak optimal dapat menyebabkan kebocoran kompresi dan konsumsi oli yang tinggi.

Gambar 4 Piston

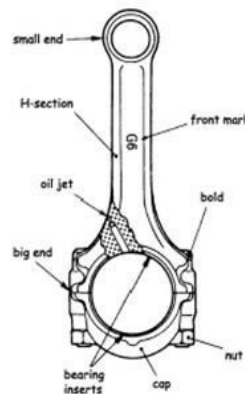


Sumber: Sutrisno, A. (2016)

b. Connecting Rod

Connecting rod atau batang penghubung memiliki peran penting dalam mentransfer gerak bolak-balik piston ke poros engkol (crankshaft). Desainnya harus kuat dan tahan terhadap beban siklik dari tekanan pembakaran yang tinggi. Kerusakan pada connecting rod dapat berakibat fatal dan menyebabkan kerusakan sistem secara menyeluruh Yulianto, B. (2019).

Gambar 5 Batang Torak



Sumber: Yulianto, B. (2019).

c. Crankshaft

Crankshaft mengubah gerakan linear piston menjadi gerakan rotasi, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Keseimbangan dan pelumasan crankshaft sangat penting untuk menghindari getaran berlebih dan keausan dini Pratama, R. A., & Kurniawan, D. (2020).

Gambar 6 Crankshaft



Sumber: Pratama, R. A., & Kurniawan, D. (2020).

d. Camshaft

Camshaft adalah poros yang dilengkapi dengan nok (cam) untuk membuka dan menutup katup masuk dan buang. Waktu pembukaan dan penutupan katup harus sinkron dengan pergerakan piston agar proses pengisian dan pembuangan gas berlangsung optimal. Gangguan pada sistem ini dapat menurunkan efisiensi volumetrik dan memperbesar konsumsi bahan bakar Siregar, E., & Wahyudi, B. (2017).

Gambar 7 Camshaft



Sumber: Siregar, E., & Wahyudi, B. (2017).

e. Cylinder Liner

Cylinder liner merupakan lapisan silinder tempat piston bergerak. Fungsinya adalah memberikan permukaan halus dan tahan aus bagi pergerakan piston, serta mempermudah proses pendinginan karena liner bersentuhan langsung dengan sistem pendingin Yuliani, S. (2018).

Gambar 8 Cylinder Liner



Sumber: Yuliani, S. (2018).

f. Flywheel

Flywheel berfungsi menyimpan energi kinetik dari gerakan putar crankshaft, sehingga membantu mempertahankan kelancaran rotasi mesin, terutama pada kecepatan rendah atau saat beban tidak stabil. Komponen ini juga berperan dalam proses starting mesin Yuliani, S. (2018).

Gambar 9 Flywheel



Sumber: Yuliani, S. (2018).

2. Mekanisme Katup

Mekanisme katup mencakup katup masuk dan buang, rocker arm, push rod, dan valve spring. Mekanisme ini dikendalikan oleh camshaft untuk mengatur siklus masuknya udara bersih ke dalam ruang bakar dan keluarnya gas buang setelah pembakaran. Sinkronisasi antara camshaft dan crankshaft sangat penting dalam sistem ini Hasan, R., & Mulyadi, A. (2020). Ketidakseimbangan mekanisme katup dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, getaran mesin, serta peningkatan emisi gas buang.

3. Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel memiliki peran krusial karena menentukan performa mesin, konsumsi bahan bakar,

dan tingkat emisi. Sistem ini meliputi tangki, filter bahan bakar, pompa bahan bakar, dan injektor. Pada mesin modern, sistem injeksi telah berkembang ke arah common rail system, yang memungkinkan tekanan injeksi sangat tinggi dan kontrol waktu injeksi yang presisi melalui aktuator elektronik Hasan, R., & Mulyadi, A. (2020).

Tekanan tinggi pada sistem injeksi membantu pengkabutan bahan bakar (atomization) menjadi partikel-partikel kecil, sehingga proses pencampuran dengan udara menjadi lebih merata dan pembakaran menjadi lebih efisien. Kerusakan pada sistem injeksi, seperti penyumbatan nozzle injektor atau tekanan yang tidak stabil, dapat mengakibatkan penurunan performa mesin, konsumsi bahan bakar meningkat, dan munculnya asap hitam.

4. Prinsip Kerja Mesin Diesel

Prinsip kerja mesin diesel berdasarkan siklus empat langkah (four- stroke cycle), yaitu:

- a. Langkah isap (intake stroke): Katup masuk terbuka, piston bergerak ke bawah menyedot udara ke dalam silinder.
- b. Langkah kompresi (compression stroke): Katup tertutup, piston bergerak ke atas dan mengompresi udara.
- c. Langkah kerja (power stroke): Bahan bakar disemprotkan ke udara panas akibat kompresi, menyebabkan pembakaran dan mendorong piston ke bawah.
- d. Langkah buang (exhaust stroke): Katup buang terbuka, piston bergerak ke atas mengeluarkan gas sisa pembakaran.

Siklus ini terus berulang seiring berjalannya mesin, dan kestabilan proses ini bergantung pada sinergi antar komponen mekanis dan sistem bahan bakar Susanto, A. (2019).

C. Pengertian Ring Piston

Ring piston , atau yang juga sering disebut sebagai cincin torak , adalah komponen berbentuk cincin tidak utuh (memiliki celah) yang dipasang pada alur di sekitar permukaan piston. Fungsi utamanya adalah mencegah kebocoran gas pembakaran dari ruang silinder ke

crankcase serta menjaga tekanan kompresi tetap stabil selama proses kerja mesin berlangsung.

Menurut Lestari, M., & Putri, N. (2021), ring piston berbentuk bulat seperti cincin dan berperan penting dalam membantu piston menjalankan fungsinya, yaitu sebagai penyekat antara sisi piston dengan dinding silinder agar tidak terjadi kebocoran udara atau gas pembakaran. Lebih lanjut, Wibowo, F. (2017), menjelaskan bahwa ring piston merupakan komponen kritis dalam mesin diesel yang biasanya terbuat dari besi cor berkualitas tinggi. Diameter ring piston sedikit lebih besar dari diameter piston, sehingga saat dipasang pada alurnya, permukaan ring akan bersentuhan langsung dengan dinding silinder. Komponen ini berfungsi sebagai *sealing element* untuk mencegah kebocoran gas dari ruang bakar dan mengontrol pelumas pada dinding silinder. Tanpa adanya ring piston, gesekan antara piston dan dinding silinder akan sangat besar, yang tidak hanya mengurangi efisiensi tenaga mesin, tetapi juga mempercepat terjadinya keausan. Oleh karena itu, ring piston dirancang untuk menekan gesekan semaksimal mungkin tanpa menyebabkan kebocoran kompresi Arifin, M. (2018).

Material ring piston umumnya terbuat dari baja elastis namun getas. Sifat elastisnya memungkinkan ring meregang ketika dimasukkan ke dalam silinder, sehingga tidak ada celah antara bagian luar ring dan dinding silinder. Untuk meningkatkan ketahanannya terhadap panas, bahan logam anti-panas juga ditambahkan. Namun, elastisitasnya terbatas; jika diregangkan terlalu jauh, ring dapat patah.

Ring piston termasuk dalam kategori komponen slow moving part, artinya pengantiannya tidak sering dilakukan. Umur pemakaiannya bisa sangat panjang asalkan perawatan mesin dilakukan secara baik dan benar, seperti rutin membersihkan filter udara dan mengganti oli mesin sesuai jadwal.

1. Pentingnya Kondisi Ring Piston dalam Kinerja Mesin

Ring piston memegang peran krusial dalam menjaga performa dan daya tahan mesin. Apabila salah satu ring piston mengalami

kerusakan, seperti retak, patah, atau kehilangan elastisitasnya, maka akan timbul berbagai masalah operasional, antara lain:

- a. Penurunan tekanan kompresi , yang menyebabkan mesin sulit hidup atau tenaga mesin berkurang.
- b. Kebocoran gas pembakaran ke crankcase, yang dapat memicu peningkatan tekanan internal dan kontaminasi pelumas.
- c. Oli pelumas ikut terbakar , menghasilkan asap biru dan peningkatan konsumsi pelumas.
- d. Peningkatan emisi gas buang serta penurunan efisiensi bahan bakar.

Untuk mencegah terjadinya kerusakan parah, diperlukan deteksi dini terhadap kondisi ring piston tanpa harus melakukan pembongkaran mesin Hartono, J., & Kurniawan, R. (2020). Metode yang sering digunakan antara lain analisis tekanan kompresi, pengukuran temperatur gas buang, dan pemeriksaan visual menggunakan boroscope.

2. Cara Kerja Ring Piston Saat Mesin Beroperasi

Ketika ring piston dimasukkan ke dalam silinder, celah pada ring akan tertutup secara otomatis karena sifat elastis materialnya. Tekanan gas pembakaran dan gerakan piston membantu ring mengembang dan menempel kuat pada dinding silinder, menciptakan segel yang rapat. Dalam kondisi normal:

- a. Tidak ada kebocoran kompresi saat piston bergerak naik-turun.
- b. Ring pelumas bekerja aktif membersihkan sisa oli di dinding silinder.
- c. Proses pembakaran berjalan maksimal, menghasilkan tenaga optimal dan emisi yang rendah.

Secara keseluruhan, ring piston terdiri dari tiga jenis utama: ring kompresi pertama, ring kompresi kedua, dan ring pelumas. Setiap jenis memiliki peran yang saling melengkapi untuk menjaga efisiensi kerja mesin dan mencegah terjadinya kerusakan dini. Keberadaan

ring piston sangat penting dalam mencegah kebocoran gas, menjaga tekanan kompresi, serta mengontrol pelumas agar tidak sampai terhisap ke ruang bakar.

Perawatan dan pemantauan berkala terhadap kondisi ring piston menjadi langkah preventif yang wajib dilakukan oleh engineer kapal untuk memastikan kelancaran operasional mesin induk, terutama pada kapal tanker modern seperti MV. AL THEEBEH yang menggunakan main engine tipe CAT C32B.

D. Jenis-Jenis Ring Piston dan Fungsinya

Ring piston merupakan komponen penting dalam sistem kerja mesin diesel, khususnya pada main engine kapal seperti tipe CAT C32B . Ring piston terdiri dari beberapa jenis yang masing-masing memiliki fungsi spesifik untuk mendukung kinerja mesin secara optimal. Berikut penjelasan lengkap mengenai jenis-jenis ring piston beserta fungsinya:

1. Ring Kompresi Pertama (Top Compression Ring)

Gambar 10 Ring Kompresi Pertama



Sumber: Lestari, M., & Putri, N. (2021)

Ring kompresi pertama adalah ring yang dipasang paling atas pada alur piston, dekat dengan ruang bakar. Komponen ini berada di posisi paling kritis karena langsung terpapar tekanan tinggi dan suhu ekstrem akibat proses pembakaran. Fungsi Utama:

- a. Menahan beban tekanan kompresi secara langsung.
- b. Mencegah kebocoran gas pembakaran dari ruang silinder ke crankcase.
- c. Memastikan tekanan kompresi tetap stabil agar pembakaran berjalan sempurna.

Karena letaknya yang sangat strategis, ring kompresi pertama mengalami beban termal dan mekanis yang lebih besar dibandingkan ring lainnya. Oleh sebab itu, bahan yang digunakan biasanya memiliki ketahanan tinggi terhadap panas dan gesekan, seperti paduan besi cor atau baja tahan panas.

2. Ring Kompresi Kedua (Second Compression Ring)

Gambar 11 Ring Kompresi Kedua



Sumber: Lestari, M., & Putri, N. (2021)

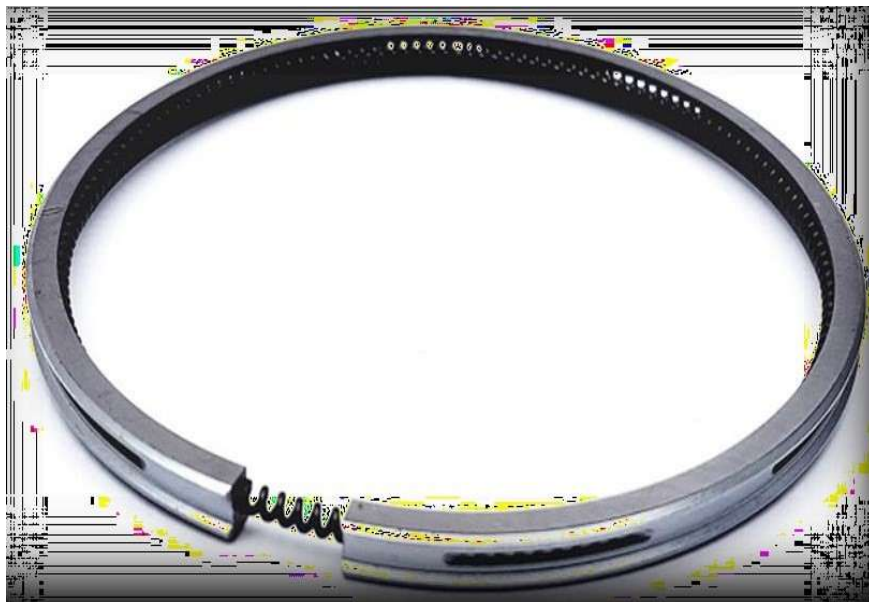
Ring kompresi kedua dipasang di bawah ring kompresi pertama. Meskipun tidak menanggung beban setinggi ring pertama, ring ini tetap memegang peran penting sebagai pendukung utama dalam menjaga efektivitas segel silinder. Fungsi Utama:

- a. Membantu ring kompresi pertama dalam mencegah kebocoran gas.
- b. Menyempurnakan penyekatan antara piston dan dinding silinder.
- c. Mengurangi risiko kebocoran kompresi yang bisa menyebabkan penurunan tenaga mesin.

Bentuk fisiknya umumnya sedikit berbeda dari ring pertama, seringkali dengan desain tepi miring atau bentuk taper guna meningkatkan kontak dengan dinding silinder dan membantu distribusi pelumas secara lebih merata.

3. Ring Pelumas (Oil Control Ring)

Gambar 12 Ring Pelumas



Sumber: Lestari, M., & Putri, N. (2021)

Ring pelumas adalah ring yang dipasang paling bawah pada piston. Berbeda dengan dua ring kompresi di atasnya, ring ini tidak

memiliki fungsi dalam penyekatan tekanan kompresi, melainkan lebih berfokus pada pengendalian pelumas. Fungsi Utama:

- a. Mengontrol jumlah oli pelumas yang menempel pada dinding silinder.
- b. Membersihkan sisa oli pelumas setelah piston bergerak naik-turun.
- c. Mencegah oli pelumas ikut terhisap ke dalam ruang bakar selama proses pembakaran.

Konstruksi ring pelumas umumnya terdiri dari dua bagian bilah logam tipis (biasanya terbuat dari baja berserat) dengan pegas spiral di tengahnya. Pegas tersebut memberikan tekanan elastis sehingga ring dapat menempel erat pada dinding silinder dan melakukan tugasnya secara efektif.

E. Indikator Gangguan Pada Main Engine

Indikator gangguan pada main engine merupakan parameter penting yang harus diawasi secara rutin untuk memastikan proses pembakaran berlangsung normal dan komponen internal mesin bekerja sesuai spesifikasi. Deteksi dini melalui indikator operasional akan memudahkan pengambilan tindakan perbaikan sebelum kerusakan menjadi lebih parah. Beberapa indikasi awal gangguan pada main engine tipe slow-speed diesel engine seperti CAT C32B antara lain sebagai berikut:

1. Kenaikan Temperatur Gas Buang

Kenaikan suhu gas buang adalah salah satu tanda utama terjadinya pembakaran tidak sempurna atau gangguan aliran gas buang. Menurut Suryanto dan Hidayat (2021), suhu gas buang yang melebihi batas normal (biasanya lebih dari 450 °C pada mesin slow-speed) menunjukkan adanya masalah atomisasi bahan bakar, penyumbatan nozzle injector, atau kerusakan pada katup buang. Pemantauan temperatur gas buang setiap silinder secara berkala menjadi langkah penting untuk mendeteksi ketidakseimbangan pembakaran sejak dini.

2. Penurunan Tekanan Kompresi

Tekanan kompresi di dalam silinder berpengaruh langsung terhadap efisiensi pembakaran bahan bakar. Penurunan tekanan kompresi dapat diukur menggunakan indicator card atau uji tekanan kompresi silinder. Putra et al. (2020) menjelaskan bahwa kebocoran tekanan kompresi sering disebabkan oleh keausan ring piston, retak pada liner silinder, atau kebocoran katup masuk dan buang. Akibatnya, proses pembakaran menjadi tidak optimal dan daya mesin menurun.

3. Fluktuasi Putaran Mesin

Ketidakeimbangan putaran mesin (engine speed fluctuation) menunjukkan distribusi pembakaran yang tidak seragam antar silinder. Kondisi ini dapat menimbulkan getaran berlebih pada crankshaft dan bearing utama. Studi oleh Nugroho dan Santosa (2019) menyebutkan bahwa fluktuasi putaran sering berkaitan dengan gangguan sistem injeksi bahan bakar atau penyetelan waktu pengapian yang tidak tepat.

4. Peningkatan Konsumsi Pelumas

Konsumsi pelumas yang meningkat secara signifikan menjadi tanda adanya kebocoran internal pada silinder. Menurut Yulianto dan Prabowo (2022), kebocoran ini umumnya terjadi melalui celah antara ring piston dan liner akibat keausan atau patahnya ring piston. Selain meningkatkan biaya operasional, konsumsi pelumas yang tinggi juga menyebabkan kontaminasi ruang bakar, pembentukan deposit karbon, dan gangguan pembakaran.

5. Warna Asap Gas Buang

Warna asap gas buang menjadi indikator visual yang mudah diamati. Asap hitam pekat menunjukkan pembakaran tidak sempurna akibat pasokan udara kurang atau kualitas bahan bakar rendah. Sementara itu, asap biru mengindikasikan pelumas ikut terbakar bersama bahan bakar karena kebocoran ring piston. Penelitian oleh Lestari dan Kurniawan (2020) menegaskan bahwa identifikasi warna

asap merupakan metode efektif untuk diagnosis awal gangguan mesin diesel kapal. Pemahaman mendalam terhadap indikator-indikator tersebut menjadi bagian penting dalam manajemen perawatan main engine, sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum kerusakan lebih luas terjadi.

F. Dampak Kerusakan Ring Piston terhadap Performa Mesin

Kerusakan ring piston, seperti retak, aus, atau patah, merupakan salah satu masalah serius pada main engine tipe slow-speed diesel engine karena langsung memengaruhi efektivitas pembakaran dan keseluruhan kinerja mesin. Menurut Yulianto dan Prabowo (2022), ring piston yang mengalami kerusakan akan menurunkan kemampuan silinder dalam mempertahankan tekanan kompresi, sehingga kualitas pembakaran bahan bakar terganggu. Berikut beberapa dampak signifikan yang timbul akibat kerusakan ring piston:

1. Kebocoran Gas Pembakaran

Retak atau patahnya ring piston mengakibatkan kebocoran gas pembakaran (blow-by) ke crankcase. Gas panas bertekanan tinggi yang bocor tidak hanya meningkatkan tekanan crankcase, tetapi juga membawa residu karbon yang mencemari oli pelumas. Suryanto dan Hidayat (2021) menyebutkan bahwa kontaminasi pelumas oleh gas pembakaran dapat mempercepat degradasi oli, mengurangi kemampuan pelumasan, dan menimbulkan potensi kerusakan lanjutan pada bearing dan komponen gesek lainnya.

2. Penurunan Efisiensi Pembakaran

Tekanan kompresi yang turun akibat kebocoran gas akan menyebabkan campuran bahan bakar dan udara tidak mencapai suhu dan tekanan optimal untuk pembakaran sempurna. Kondisi ini menimbulkan penurunan efisiensi pembakaran, ditandai dengan kenaikan temperatur gas buang, asap hitam pekat, serta getaran mesin yang lebih tinggi. Penelitian oleh Putra et al. (2020) menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran mesin diesel kapal dapat turun hingga 15–20% akibat kehilangan kompresi.

3. Overheating Komponen Silinder

Gas pembakaran yang bocor akan memanaskan area di sekitar ring piston dan liner secara tidak merata, sehingga menimbulkan peningkatan suhu lokal (hot spot). Overheating ini memicu oksidasi pelumas di dinding liner, meningkatkan gesekan, serta mempercepat keausan piston dan liner. Menurut Lestari dan Kurniawan (2020), overheating berulang pada liner dan ring piston menjadi penyebab retak termal pada permukaan komponen.

4. Peningkatan Konsumsi Minyak Pelumas

Kerusakan ring piston menyebabkan pelumas lebih mudah masuk ke ruang bakar dan ikut terbakar bersama bahan bakar. Akibatnya, konsumsi pelumas meningkat secara signifikan, sementara residu pembakaran oli akan membentuk deposit pada nozzle injector, katup buang, dan crown piston. Yulianto dan Prabowo (2022) menjelaskan bahwa konsumsi pelumas yang tidak normal adalah salah satu indikator kuat kerusakan ring piston pada mesin diesel kapal.

5. Penurunan Daya Mesin

Kombinasi kebocoran kompresi, pembakaran tidak sempurna, overheating, dan gesekan berlebih menyebabkan turunnya tenaga output main engine. Dalam operasi kapal, hal ini berakibat pada penurunan kecepatan jelajah, waktu tempuh yang lebih lama, serta peningkatan konsumsi bahan bakar untuk mempertahankan kecepatan minimum. Nugroho dan Santosa (2019) mencatat bahwa kerusakan ring piston dapat menurunkan daya mesin hingga 25% jika tidak segera ditangani.

Kerusakan ring piston tidak hanya berdampak teknis pada mesin, tetapi juga menambah biaya operasional kapal akibat penggunaan pelumas berlebih, perbaikan komponen, serta potensi keterlambatan pengiriman muatan. Oleh sebab itu, pemantauan kondisi ring piston dan tindakan perawatan preventif harus menjadi prioritas dalam pengoperasian main engine.

G. Strategi Pencegahan Kerusakan Ring Piston pada Main Engine

Pencegahan kerusakan ring piston merupakan langkah penting untuk menjaga keandalan main engine dan meminimalkan downtime kapal. Menurut Suryanto dan Hidayat (2021), strategi pencegahan harus dilakukan secara menyeluruh, mulai dari pengelolaan bahan bakar hingga pemeliharaan berkala komponen mesin. Beberapa strategi utama yang dapat diterapkan adalah:

1. Penggunaan Bahan Bakar Sesuai Spesifikasi

Pemilihan bahan bakar dengan spesifikasi sesuai rekomendasi pabrikan mesin akan mengurangi risiko pembentukan deposit karbon. Penggunaan fuel treatment dan filtrasi yang baik juga membantu memastikan bahan bakar bersih sebelum diinjeksikan ke ruang bakar.

2. Monitoring Temperatur dan Tekanan Kompresi

Pengukuran rutin temperatur gas buang dan tekanan kompresi menjadi salah satu metode deteksi dini kerusakan ring piston. Temperatur gas buang yang tidak seimbang antar silinder harus segera ditindaklanjuti dengan pemeriksaan fisik komponen.

3. Pemeriksaan dan Penggantian Ring Piston Berkala

Ring piston memiliki umur pakai terbatas. Oleh karena itu, pemeriksaan visual, pengukuran celah ring, dan penggantian sesuai jadwal overhaul merupakan langkah pencegahan yang wajib dilakukan. Menurut Yulianto dan Prabowo (2022), penggantian ring piston pada interval yang direkomendasikan terbukti menurunkan risiko kebocoran gas pembakaran secara signifikan.

Melalui penerapan strategi-strategi tersebut, risiko kerusakan ring piston dapat ditekan, sehingga performa main engine tetap optimal, konsumsi bahan bakar terkendali, dan biaya perawatan mesin menjadi lebih efisien.

H. Kerangka Pikir Penelitian

