

**ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP PERFORMA
PEMBAKARAN PADA MESIN *DIESEL* KMP MISHIMA**



Disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian Program
Pendidikan Dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I

DEREK EDUARD
NIS: 25.05.102.009
AHLI TEKNIK TINGKAT I

PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASAR
2025

PERYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : DEREK EDUARD

Nomor Induk Siswa : 25.05.102.009

Program Pelatihan : Ahli TeknikTingkat I

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP PERFORMA PEMBAKARAN PADA MESIN *DIESEL* KMP MISHIMA

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

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

Makassar, *09 - July*. 2025



DEREK EDUARD

PERSETUJUAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP
PERFORMA PEMBAKARAN PADA MESIN *DIESEL*
KMP MISHIMA

NAMA PASIS : DEREK EDUARD

NOMOR INDUK SISWA : 25.05.102.009
PROGRAM DIKLAT : AHLI TEKNIK TINGKAT I

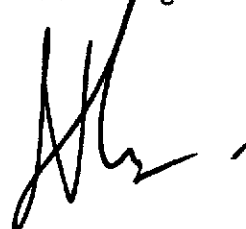
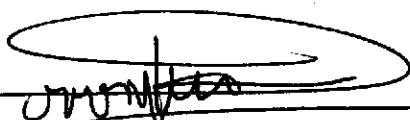
Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar,

Menyetujui:

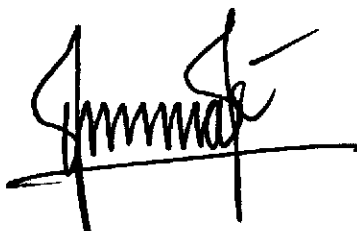
Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. H. MAHBUB ARFAH, S.Si.T., M.T., M.Mar.E ZULKIFLI SYAMSUDDIN, S.Si.T., M.Mar.E
NIP. 197805022009121001 NIP. 198403232019021002

Mengetahui:
Manager Diklat Teknis
Peningkatan dan Penjenjangan



Ir. SUYUTI, M.Si., M.Mar.E
NIP. 196805082002121002

**ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP PERFORMA PEMBAKARAN
PADA MESIN DIESEL KMP MISHIMA**

Disusun dan Diajukan Oleh:

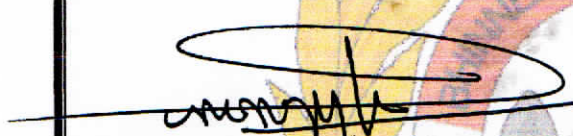
DEREK EDUARD
25.05.102.009
AHLI TEKNIK TINGKAT I

Telah di pertahankan di depan panitia Ujian KIT
Pada tanggal, 2025

Pembimbing I

Menyetujui:

Pembimbing II


Ir. H. MAHBUB ARFAH, S.Si.T., M.T., M.Mar.E ZULKIFLI SYAMSUDDIN, S.Si.T., M.Mar.E
NIP. 197805022009121001 NIP. 198403232019021002

Mengetahui:

A.n. Direktur
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Pembantu Direktur I


Capt. FAISAL BARANSI, MT., M.Mar
NIP. 197503291999031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan bagi Perwira Siswa Jurusan Ahli Teknik Tingkat I (ATT I) dalam menyelesaikan studinya pada program ATT I di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi tata bahasa, struktur kalimat, maupun metode penulisan.

Tak lupa pada penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E. selaku Manager Diklat Teknis Peningkatan dan Penjenjangan Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
3. Ir. H. Mahbub Arfah, S.Si.T., M.T., M.Mar.E selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Zulkifli Syamsuddin, S.Si.T., M.Mar.E. selaku pembimbing II penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
5. Seluruh Staf Pengajar Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar atas bimbingan yang diberikan kepada penulis selama mengikuti program diklat ahli Teknik tingkat I (I) di PIP Makassar.
6. Rekan-rekan Pasis Angkatan XLV Tahun 2025
7. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak, Ibu, dan Istriku tercinta yang telah memberikan doa, dorongan, serta bantuan moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini.

Dalam penulisan KIT ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan- kekurangan dipandang dari segala sisi. Tentunya dalam hal ini tidak lepas dari kemungkinan adanya kalimat-kalimat atau kata-kata yang kurang berkenan dan perlu untuk diperhatikan. Namun walaupun demikian, dengan segala kerendahan hati penulis memohon kritik dan saran-saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan makalah ini. Harapan penulis semoga karya tulis ilmiah terapan ini dapat dijadikan bahan masukan serta dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Makassar, 09 July 2025



DEREK EDUARD

ABSTRAK

DEREK EDUARD, 2025 ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP PERFORMA PEMBAKARAN PADA MESIN *DIESEL* KMP MISHIMA DI BIMBING OLEH MAHBUB ARFAH DAN ZULKIFLI SYAMSUDDIN

Penelitian ini mengkaji masalah gangguan pembakaran pada mesin *diesel* KMP Mishima yang terjadi selama pelayaran dari Bajoe ke Kolaka pada Desember 2021. Masalah utama yang diteliti adalah ketidakstabilan mesin akibat kerusakan sistem *injeksi*, yang ditandai dengan peningkatan suhu gas buang hingga 500°C, asap hitam pekat, dan penurunan RPM mesin dari 600 menjadi 520RPM. Penelitian dilakukan melalui analisis komprehensif terhadap komponen kritis sistem *injeksi*, termasuk pengukuran tekanan *injector*, evaluasi pola semprotan bahan bakar, pemeriksaan keausan *nozzle*, dan analisis kontaminasi bahan bakar.

Metode penelitian menggunakan pendekatan observasi langsung terhadap proses perbaikan pasca insiden, dilengkapi dengan pengukuran presisi menggunakan pop tester (akurasi ± 5 bar), combustion analyzer, dan borescope inspection untuk memeriksa kondisi internal silinder. Data dikumpulkan melalui pemeriksaan fisik komponen injektor, analisis catatan perawatan dalam *Planned Maintenance System* (PMS), serta wawancara mendalam dengan awak kamar mesin. Pengujian pasca perbaikan meliputi uji tekanan *injector*, pengukuran suhu gas buang tiap silinder, dan analisis emisi untuk memvalidasi kinerja sistem yang telah diperbaiki.

Hasil penelitian mengungkapkan akar masalah berasal dari kombinasi faktor teknis dan manajerial. *Nozzle injector* pada silinder 2, 3, dan 6 menunjukkan penyumbatan oleh endapan karbon dan partikel logam, dengan keausan lubang semprot melebihi toleransi 0,01 mm. Sistem penyaringan bahan bakar terbukti tidak efektif dengan kandungan air 0,1% (melebihi batas ISO 8217) dan partikel >10 mikron.

Kata Kunci: Gangguan Pembakaran, Sistem *Injeksi Diesel*, Perawatan Mesin Kapal

ABSTRACT

DEREK EDUARD, 2025 INJECTOR PERFORMANCE OPTIMIZATION AS AN EFFORT TO PREVENT COMBUSTION DISORDERS IN KMP MISHIMA *DIESEL* ENGINE GUIDED BY MAHBUB ARFAH AND ZULKIFLI SYAMSUDDIN

This study examines the problem of combustion disturbances in the KMP Mishima *diesel* engine that occurred during the voyage from Bajoe to Kolaka in December 2021. The main problem studied was engine instability due to damage to the injection system, which was characterized by an increase in exhaust gas temperature to 500°C, thick black smoke, and a decrease in engine RPM from 1,200 to 520RPM. The study was conducted through a comprehensive analysis of critical components of the injection system, including injector pressure measurement, fuel spray pattern evaluation, nozzle wear inspection, and fuel contamination analysis.

The research method used a direct observation approach to the post-incident repair process, equipped with precision measurements using a pop tester (accuracy ± 5 bar), combustion analyzer, and borescope inspection to check the internal condition of the cylinder. Data were collected through physical inspection of injector components, analysis of maintenance records in the Planned Maintenance System (PMS), and in-depth interviews with engine room crew. Post-repair testing included injector pressure testing, exhaust gas temperature measurements for each cylinder, and emission analysis to validate the performance of the repaired system.

The results of the study revealed that the root of the problem came from a combination of technical and managerial factors. The injector nozzles on cylinders 2, 3, and 6 showed blockages by carbon deposits and metal particles, with spray hole wear exceeding the tolerance of 0.01 mm. The fuel filtration system proved ineffective with a water content of 0.1% (exceeding the ISO 8217 limit) and particles >10 microns.

Keywords: Combustion Disorders, *Diesel* Injection System, Ship Engine Maintenance

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN SEMINAR	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Manusia	10
B. Faktor Organisasi Diatas Kapal	11
C. Faktor Kapal	13
D. Faktor Manajemen Perusahaan	14
E. Faktor Luar Kapal	16
BAB III METODE PENGAMBILAN DATA	
A. Observasi/Pengamatan	18
B. Intrview/Wawancara	18
C. Studi Pustaka	19

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Kejadian	21
B. Situasi dan Kondisi	21
C. Temuan	23
D. Urutan Kejadian	30

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	32
B. Saran	32

DAFTAR PUSTAKA	33
-----------------------	----

LAMPIRAN	34
-----------------	----

RIWAYAT HIDUP	36
----------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Putra (2020) menyatakan bahwa mesin *diesel* merupakan jantung utama dari sebuah kapal, yang berperan penting dalam menjamin kelancaran operasional pelayaran. Salah satu komponen kritis dalam sistem pembakaran mesin *diesel* adalah *injector*, yang berfungsi menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan tekanan tinggi. Jika kinerja *injector* tidak optimal, dapat mengakibatkan gangguan pembakaran yang berdampak pada efisiensi mesin dan bahkan kerusakan komponen lainnya. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pengawasan terhadap kondisi *injector* harus dilakukan secara rutin untuk mencegah terjadinya masalah yang dapat mengganggu operasional kapal.

Grochowalska, Jaworski, & Kapusta (2023) menemukan bahwa rasio panjang-lebar (L/D) orifis *injector* sangat memengaruhi sudut kerucut semprotan (*spray cone angle*) dan penetrasi ujung semprotan (*spray tip penetration*)—parameter makro yang krusial dalam proses atomisasi bahan bakar. Optimalisasi geometri ini dapat meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara, sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin diesel maritim.

Hidayat dan Ramadhan (2021) menyatakan bahwa dalam konteks regulasi, SOLAS (*Safety of Life at Sea*) Chapter II-1, Regulation 26, menyatakan bahwa semua sistem propulsi kapal harus dijaga dalam kondisi operasional yang aman dan efisien. Selain itu, Peraturan Klasifikasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol. III Section 6.2 mengatur bahwa komponen mesin utama, termasuk *injector*, harus diperiksa secara berkala sesuai interval yang ditetapkan. Pelanggaran terhadap ketentuan ini dapat dianggap sebagai kelalaian dalam pemeliharaan, yang berpotensi mengakibatkan gangguan operasional kapal.

Penelitian Shandy Ramadhan A.F., Mahbub Arfah, & Taharuddin (2025) di kapal MV *Sinar Bandung* mencatat bahwa kebuntuan pada *nozzle bowl body* dalam *Fuel Oil Purifier* menjadi salah satu penyebab *overflow*, yang menghambat suplai bahan bakar bersih ke sistem mesin. Kondisi ini menunjukkan bahwa kebersihan dan integritas *nozzle*, baik pada *injector* maupun sistem pemurnian bahan bakar, sangat menentukan kinerja pembakaran.

Pengalaman di kapal AHTS Logindo Energy yang diteliti oleh Agus Salim (2020) juga menegaskan urgensi ini. Penelitian tersebut menemukan bahwa penyumbatan pada lubang *nozzle injector* disebabkan oleh kurangnya perawatan tangki dan penyaring (*filter*), yang mengakibatkan terjadinya kebocoran bahan bakar. Selain itu, pernah terjadi kebocoran pada *pressure fuel oil injection pump* nomor 1 *main engine* yang memaksa awak kapal menghentikan satu mesin induk sambil melakukan pemeriksaan komponen silinder untuk mencegah kerusakan lebih parah. Temuan ini menegaskan bahwa kelalaian dalam pembersihan dan penggantian komponen sesuai *Planned Maintenance System* (PMS) dan *Standard Operating Procedure* (SOP) dapat memicu gangguan fatal pada operasional kapal. Oleh karena itu, penerapan PMS dan SOP yang disiplin menjadi kunci untuk menjaga kebersihan bahan bakar di *service tank* dan mencegah penyumbatan *nozzle injector*.

Dan kondisi serupa dirasakan penulis pada tanggal 17 Desember 2021, KMP Mishima berlayar dari Pelabuhan Bajoe menuju Pelabuhan Kolaka. Setelah kurang lebih dua jam berlayar, masinis jaga mendeteksi ketidakstabilan suara mesin induk kiri (*port side*). Pengecekan lebih lanjut menunjukkan adanya peningkatan suhu gas buang yang tidak normal pada silinder nomor 2, 3, dan 6. Suhu gas buang yang seharusnya berada pada kisaran 340–400°C meningkat drastis menjadi 450–500°C. Selain itu, asap gas buang terpantau berwarna hitam pekat, mengindikasikan pembakaran yang tidak sempurna.

Penelitian oleh AP (2024) menunjukkan bahwa tekanan injeksi yang rendah atau distribusi bahan bakar yang tidak merata menyebabkan pembakaran parsial, meningkatkan suhu gas buang dan menghasilkan asap peka

Atas instruksi KKM (Kepala Kamar Mesin), RPM mesin diturunkan dari operasional normal 600 RPM menjadi 520RPM untuk mengurangi beban mesin sekaligus mencegah kerusakan lebih lanjut. Penurunan RPM ini memungkinkan kapal tetap melanjutkan pelayaran dengan kecepatan berkurang hingga tiba di Pelabuhan Kolaka. Setelah sandar, dilakukan pemeriksaan lebih mendalam dan ditemukan bahwa *injector* pada silinder yang bermasalah mengalami penyumbatan dan keausan pada *nozzle*, mengakibatkan aliran bahan bakar tidak optimal.

Insiden ini menunjukkan bahwa gangguan pada *injector* dapat memengaruhi kinerja mesin secara signifikan. Jika tidak segera ditangani, dapat berpotensi menyebabkan kerusakan lebih parah seperti *overheating* atau bahkan piston seizure. Oleh karena itu, pengawasan terhadap kondisi *injector* harus menjadi prioritas dalam pemeliharaan mesin kapal. Penyimpangan dalam kasus ini terletak pada kurangnya pemeriksaan berkala terhadap *injector* sebelum pelayaran. Meskipun jadwal perawatan telah ditetapkan, implementasinya tidak dilakukan dengan ketat, sehingga mengakibatkan *injector* yang seharusnya diganti atau dibersihkan tetap digunakan. Hal ini merupakan pelanggaran terhadap prosedur pemeliharaan yang diatur dalam manual mesin dan standar BKI.

KKM sebagai penanggung jawab kamar mesin seharusnya memastikan bahwa seluruh komponen mesin, termasuk *injector*, telah diperiksa sebelum kapal beroperasi. Sementara itu, masinis jaga telah melakukan langkah tepat dengan segera melaporkan kelainan yang terdeteksi, sehingga tindakan mitigasi dapat segera diambil. Namun, insiden ini bisa dihindari jika pemeriksaan rutin dilaksanakan sesuai standar.

Dari kronologi ini, terlihat bahwa masalah utama terletak pada lemahnya pengawasan terhadap kondisi *injector* sebelum pelayaran. Jika prosedur pemeriksaan telah dilakukan secara menyeluruh, kemungkinan besar *injector* yang bermasalah dapat terdeteksi lebih awal dan diganti sebelum menyebabkan gangguan pembakaran. Berdasarkan pengalaman di atas, penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan menuangkannya dalam bentuk Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul "ANALISIS KINERJA INJEKTOR TERHADAP PERFORMA PEMBAKARAN PADA MESIN *DIESEL* KMP MISHIMA"

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apa saja faktor yang menjadi penyebab gangguan pembakaran pada *injector* mesin diesel di KMP Mishima?
2. Bagaimana pengaruh kinerja *injector* yang tidak optimal terhadap efisiensi mesin dan operasional kapal?
3. Apa saja upaya yang dilakukan untuk mengatasi dan mencegah terulangnya gangguan pembakaran pada *injector* mesin diesel di KMP Mishima?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi analisis pada gangguan pembakaran mesin *diesel* KMP Mishima yang terjadi pada tanggal 17 Desember 2021 saat pelayaran dari Pelabuhan Bajoe menuju Kolaka, dengan fokus utama pada kerusakan *injector* yang mengakibatkan peningkatan suhu gas buang hingga 420°C, asap hitam pekat, dan penurunan RPM mesin dari 600 menjadi 520RPM. Dampak yang ditinjau terbatas pada penurunan efisiensi pembakaran, risiko *overheating* mesin, dan kelalaian dalam penerapan *Planned Maintenance System* (PMS) untuk komponen *injector*.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Penelitian ini bertujuan

1. Untuk mengetahui faktor penyebab gangguan terhadap proses pembakaran *injector* mesin *diesel* KMP Mishima
2. Untuk mengetahui pengaruh kinerja *injector* yang tidak optimal terhadap efisiensi mesin dan operasional kapal
3. Untuk mengetahui upaya yang dilakukan untuk mengatasi dan mencegah terulangnya gangguan pembakaran pada *injector* mesin *diesel*

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu permesinan kapal dengan menganalisis hubungan antara kinerja *injector* dan gangguan pembakaran pada mesin *diesel*,

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian dapat menjadi acuan bagi awak kapal dalam menerapkan prosedur pemeliharaan *injector* yang lebih efektif, serta membantu perusahaan pelayaran dalam menyusun kebijakan maintenance yang lebih komprehensif

F. Hipotesis

Berdasarkan analisis awal, diduga gangguan pembakaran pada mesin *diesel* KMP Mishima disebabkan oleh:

1. *Injector* tersumbat akibat kualitas bahan bakar buruk atau kontaminasi partikel dalam sistem bahan bakar
2. *Nozzle injector* aus karena melebihi batas jam operasi tanpa penggantian sesuai rekomendasi pabrik.
3. *Pressure injector* tidak stabil akibat melemahnya *spring pressure* atau kerusakan pada *plunger injector*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

INJEKSI MESIN DIESEL

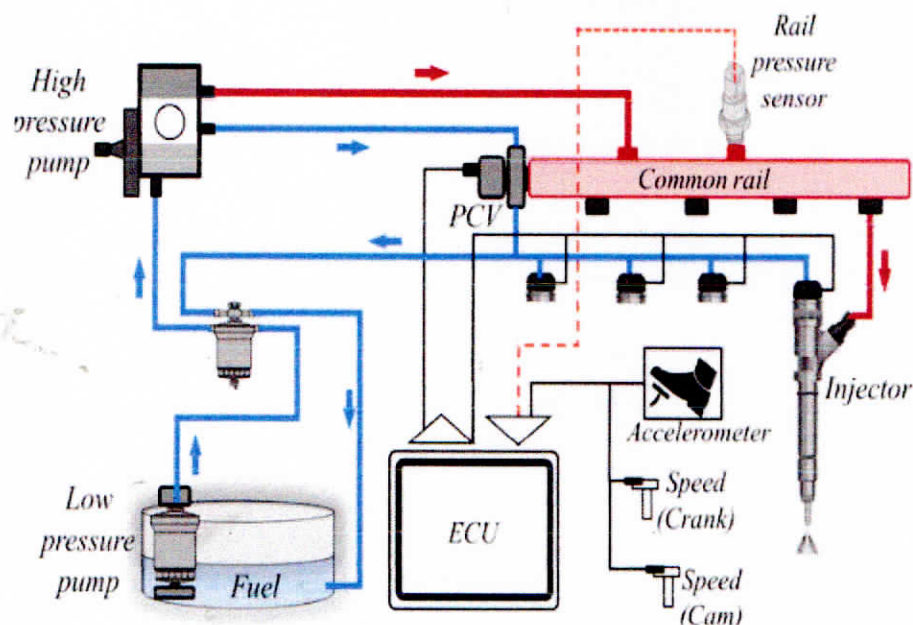
1. Pengertian *injeksi mesin diesel*

Sistem injeksi pada mesin diesel merupakan komponen vital yang bertanggung jawab untuk menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar pada waktu, tekanan, dan jumlah yang tepat. Sistem ini menggantikan sistem karburator yang umum ditemukan pada mesin bensin, karena mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip pengapian akibat kompresi tinggi (*compression ignition*), bukan busi.

Menurut Bosch (2022), sistem injeksi diesel dirancang untuk menginjeksikan bahan bakar dengan tekanan tinggi secara langsung ke dalam ruang bakar silinder. Hal ini memungkinkan proses pembakaran berlangsung lebih efisien dan menghasilkan daya yang optimal. Injeksi bahan bakar ini harus disesuaikan dengan beban dan kecepatan mesin untuk memastikan efisiensi termal yang tinggi dan emisi gas buang yang rendah.

HowStuffWorks (2021) menjelaskan bahwa sistem injeksi terdiri dari beberapa komponen utama seperti pompa injeksi, injektor, pipa tekanan tinggi, dan sistem pengendali elektronik (ECU). ECU mengatur waktu dan durasi injeksi berdasarkan berbagai sensor mesin untuk mengoptimalkan performa dan efisiensi bahan bakar.

DieselNet (2020) menambahkan bahwa sistem injeksi modern menggunakan teknologi *common rail*, di mana bahan bakar ditekan dan disimpan dalam rel tekanan tinggi, lalu didistribusikan ke setiap injektor secara elektronik. Sistem ini memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap tekanan dan waktu injeksi.

Gambar 2.1 Sistem *Injeksi Common Rail*

(Sumber: MAN Energy Solutions Technical Documentation)

Kinerja sistem *injeksi* sangat menentukan efisiensi pembakaran. *Injector* yang bermasalah dapat menyebabkan gejala seperti asap hitam (akibat pembakaran tidak sempurna), *knocking* (dari pembakaran tidak terkontrol), atau peningkatan suhu gas buang secara lokal. Pada kasus KMP Mishima, penyumbatan *nozzle injector* oleh karbon dan partikel logam menyebabkan pola semprotan tidak simetris sehingga bahan bakar tidak terbakar optimal. Standar ISO 4010:2018 mensyaratkan toleransi diameter lubang *nozzle* maksimal ± 0.005 mm untuk memastikan distribusi bahan bakar merata.

2. Prinsip Kerja Sistem *Injeksi*

Sistem *injeksi* pada KMP Mishima bekerja melalui tiga fase utama:

- a. Tekanan Tinggi: *Fuel Supply pump* mengalirkan solar dari tangki ke *high-pressure pump*, meningkatkan tekanan hingga 250 bar
- b. Akumulasi: Bahan bakar bertekanan disimpan dalam *common rail* sebelum disalurkan ke *injector*
- c. *Injeksi*: ECU mengaktifkan solenoid valve pada *injector* untuk membuka *nozzle* selama 1-2 milidetik, menyemburkan bahan bakar teratomisasi ke ruang bakar

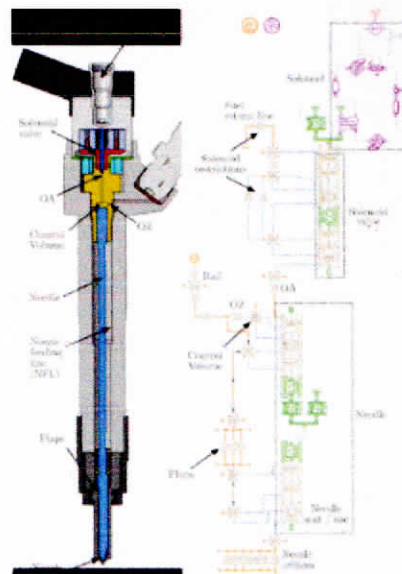
3. Komponen Utama Sistem *Injeksi*

Sistem *injeksi diesel* terdiri dari beberapa komponen utama yang masing-masing memiliki peran vital dalam memastikan *injeksi* bahan bakar yang tepat dan efisien.

a. *Injector*

Injector bertugas untuk menyemburkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dalam bentuk partikel halus agar mudah terbakar. Komponen ini terdiri dari *nozzle*, *plunger*, dan *pressure spring*. Pada mesin digunakan tipe solenoid-controlled *injector* yang memiliki delapan lubang semprot untuk menjamin distribusi bahan bakar yang merata. Kerusakan yang umum terjadi pada *injector* antara lain adalah penyumbatan *nozzle* akibat partikel karbon, keausan pada *plunger*, serta pelemahan pegas yang mengganggu tekanan semprotan.

Gambar 2.2 *Injector*

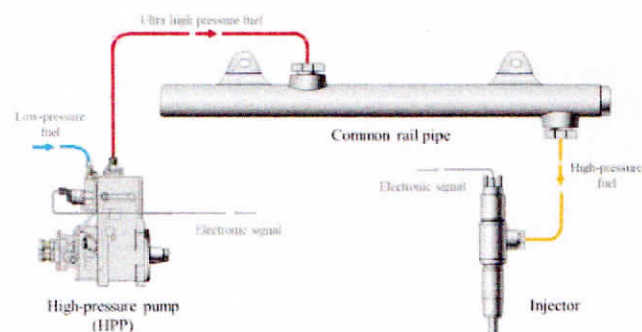


Sumber : <https://www.artofit.org/image-gallery>

b. *High-Pressure Pump*

Pompa ini berfungsi untuk meningkatkan tekanan bahan bakar sebelum masuk ke dalam *Fuel rail*. Pada sistem *common rail* di KMP Mishima, tekanan yang dihasilkan bisa mencapai 250 bar. Namun, pompa ini dapat mengalami kerusakan seperti slip pada *vane pump* yang terjadi akibat keausan pada *housing*-nya, sebagaimana ditemukan pada insiden terakhir di kapal tersebut.

Gambar 2.3 *High Pressure*

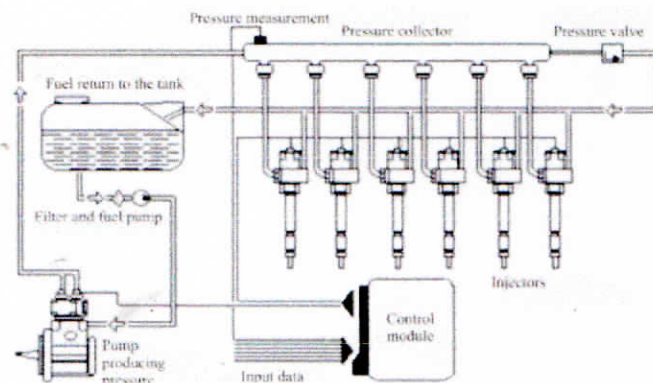


Sumber : https://www.autospeed.com/a_108104/hdg34ultp_1/cms/article

c. *Fuel rail*

Fuel rail bertindak sebagai akumulator tekanan, menyimpan bahan bakar bertekanan tinggi sebelum dialirkan ke *injector*. Komponen ini dilengkapi dengan pressure sensor untuk memantau tekanan aktual dan relief valve untuk menjaga agar tekanan tidak melebihi batas aman.

Gambar 4.4 *Fuel rail*

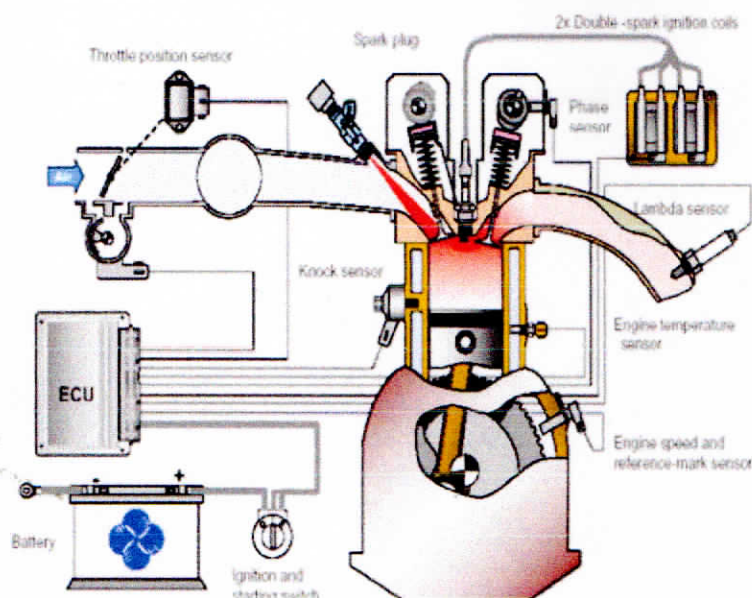


Sumber : <https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-t>

d. Control System (ECU)

Unit kontrol elektronik atau ECU bertugas mengatur waktu dan durasi *injeksi* berdasarkan beberapa parameter seperti beban mesin (yang dideteksi melalui torque sensor), putaran mesin, dan suhu pendingin (*coolant*). ECU sangat penting untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi bahan bakar dan emisi gas buang.

Gambar 4. 5 Control Sistem ECU



Sumber : https://www.autospeed.com/a_108104/hdg34ultp_1/cms/article

A. Faktor Manusia

Keterampilan dan pengetahuan

Kurangnya pengetahuan teknis kru mesin tentang prosedur perawatan injector, seperti kalibrasi tekanan dan pembersihan nozzle, dapat menyebabkan kesalahan pemasangan dan kegagalan mendeteksi kerusakan dini, yang berdampak pada efisiensi mesin dan konsumsi bahan bakar (DuramaxTuner, 2023). Menurut STCW Regulation III/1, setiap engineering officer wajib menjalani pelatihan teori dan praktik secara berkala untuk memastikan kompetensi dalam menangani sistem bahan bakar diesel, termasuk injector (IMO, 2020). Jika pelatihan ini tidak dilaksanakan dengan efektif, risiko human error meningkat, seperti salah menggunakan alat atau tidak mengikuti spesifikasi torsi saat pemasangan ulang (Desai, 2021). Klasifikasi seperti ABS juga menuntut perawatan injector dilakukan oleh personel kompeten, sementara studi teknis menunjukkan banyak kasus kerusakan injector berasal dari kelalaian prosedur perawatan (Fleet Maintenance, 2023). Oleh karena itu, penerapan pelatihan berbasis kompetensi, penggunaan metode condition-based maintenance

(CBM), serta pengawasan ketat dari badan klasifikasi menjadi langkah kunci dalam meminimalkan kerusakan akibat kesalahan manusia (ClassNK, 2023).

Penelitian oleh *Maritime Safety Committee* (MSC.1/Circ.1580) menunjukkan bahwa 32% kasus kerusakan mesin kapal disebabkan oleh human error yang bersumber dari kurangnya pemahaman teknis. Oleh karena itu, peningkatan program pelatihan berbasis kompetensi dan sertifikasi wajib bagi engineering crew menjadi solusi utama untuk meminimalisir risiko ini.

B. Organisasi diatas kapal

Penanggung jawab pekerjaan

Menurut MLC 2006 Regulation 2.3, jam kerja kru dibatasi maksimum 14 jam per hari dan 72 jam per minggu untuk mencegah kelelahan berlebih (International Labour Organization, 2006). Namun, laporan Seafarers Happiness Index Q2 2021 oleh The Mission to Seafarers menunjukkan bahwa 39 % pelaut masih bekerja melebihi batas ini, yang berpengaruh negatif terhadap kualitas inspeksi keselamatan di kapal (The Mission to Seafarers, 2021). Selain itu, ISM Code 9.1 mewajibkan pelaporan seluruh kondisi tidak aman melalui SMS—non-konformitas, kecelakaan, dan situasi berbahaya—untuk evaluasi dan tindakan korektif (International Maritime Organization, 2014). Pelanggaran terhadap ketentuan ini dapat dikenai sanksi sesuai UU Pelayaran No. 17/2008 Pasal 221 (Republik Indonesia, 2008).

1. Chief Engineer (KKM)

- a. Bertanggung jawab penuh atas seluruh operasional kamar mesin
- b. Menyusun *Planned Maintenance System* (PMS) untuk *injector* termasuk jadwal:
 - 1) Kalibrasi tekanan *injector* (setiap 4.000 jam operasi)

- 2) Penggantian *nozzle* (setiap 8.000 jam operasi)
 - 3) Pembersihan filter bahan bakar (setiap 500 jam)
- c. Memastikan ketersediaan *spare part injector* sesuai standar OEM
- d. Membuat laporan kondisi teknis mesin secara berkala ke perusahaan
- 2. Second Engineer
 - a. Melaksanakan program PMS yang ditetapkan Chief Engineer
 - b. Membuat dokumen perawatan *injector* meliputi:
 - 1) Catatan tekanan pembukaan *injector*
 - 2) Hasil *spray pattern test*
 - 3) Waktu penggantian komponen
 - c. Melakukan *troubleshooting* saat terjadi gejala awal gangguan pembakaran
 - d. Mengawasi pekerjaan bongkar-pasang *injector* oleh junior engineer
- 3. Oiler/Engine Rating
 - a. Melaksanakan tugas harian pemeliharaan dasar:
 - 1) *Drainage* air dari *fuel settling tank*
 - 2) Pembersihan primary filter bahan bakar
 - 3) Pengecekan visual kebocoran *fuel line*
 - b. Membantu dalam pekerjaan:
 - 1) Pembongkaran *injector* untuk perawatan
 - 2) Pengukuran tekanan *spring injector*
 - 3) Pencatatan parameter operasional mesin
- 4. Electrical Officer
 - a. Memastikan sistem pendukung *injector* berfungsi:
 - 1) Sensor suhu gas buang
 - 2) *Fuel temperature control*
 - 3) *Glow plug system* (jika ada)
 - b. Melakukan kalibrasi alat ukur tekanan *injector*.

5. Deck Department

- a. Memantau indikator tidak langsung gangguan *injector*:
 - 1) Perubahan warna asap cerobong
 - 2) Getaran abnormal pada kapal
 - 3) Penurunan kecepatan kapal
- b. Melapor ke kamar mesin jika menemui gejala abnormal

C. Faktor Kapal

Perawatan

Menurut SOLAS Chapter II-1 Regulation 26 (International Maritime Organization, 2020a), setiap sistem propulsi kapal—termasuk *injector* diesel—harus menjalani pemeliharaan sesuai interval yang ditetapkan oleh pabrikan. Pemeliharaan ini mencakup pembersihan, inspeksi, kalibrasi, dan penggantian komponen sesuai jadwal. Sayangnya, dalam beberapa dokumentasi IMO dan laporan teknis terkait, ditemukan bahwa banyak kapal niaga belum sepenuhnya mematuhi ketentuan ini karena prioritas operasional, bukan teknis. Kurangnya kepatuhan terhadap SOLAS ini sering dikaitkan dengan ketidakteraturan jadwal pemeliharaan mesin dan potensi malfungsi *injector* yang dapat menyebabkan kegagalan mesin saat berlayar.

Penggunaan suku cadang aftermarket yang tidak memenuhi spesifikasi pabrikan juga menjadi faktor signifikan dalam menurunnya performa *injector*. Menurut *technical bulletin* dari MAN Energy Solutions (2021), beberapa komponen nozzle *injector* non-OEM, yang umumnya digunakan sebagai alternatif biaya rendah, dapat mengurangi efisiensi pembakaran hingga 15 %. Dalam kondisi operasi kapal dengan penggunaan suku cadang non-genuine, efisiensi mesin menurun dan kecenderungan degradasi dini meningkat, bahkan apabila PMS dan pemantauan dasar dijalankan.

Selanjutnya, IMO MSC.1/Circ.1620 (International Maritime Organization, 2020b) merekomendasikan penerapan sistem *condition*

monitoring berupa sensor tekanan dan suhu pada common-rail injector. Penerapan teknologi ini memungkinkan pendeteksian dini anomali seperti kebocoran atau penyumbatan sebelum menyebabkan kerusakan mesin fatal. Studi oleh DNV (2021) mencatat bahwa hanya sekitar 40% kapal telah mengadopsi sistem ini, sedangkan sisanya masih mengandalkan inspeksi visual dan manual semata. Tanpa sistem monitoring modern, operator kehilangan kesempatan melakukan pemeliharaan preventif tepat waktu, sehingga injector berisiko mengalami kegagalan di tengah operasi — kondisi yang bisa berdampak signifikan terhadap keselamatan dan kontinuitas kegiatan pelayaran.

D. Faktor Manajemen Pelayaran

Komitmen Manajemen tentang Safety

Komitmen manajemen terhadap keselamatan operasional sangat menentukan keberhasilan perawatan komponen penting seperti injector. Meskipun regulasi seperti SOLAS Chapter II-1 Regulation 26.3 telah dengan jelas mewajibkan penyediaan sumber daya yang memadai untuk pemeliharaan sistem propulsi, kenyataannya masih banyak perusahaan pelayaran yang tidak menjadikan aspek ini sebagai prioritas nyata. Sering kali, manajemen hanya menyusun kebijakan keselamatan secara administratif demi memenuhi kewajiban audit, tanpa benar-benar menerapkan langkah konkret yang mendukung sistem perawatan di atas kapal. Hal ini berdampak langsung pada kualitas dan konsistensi perawatan injector, yang menjadi salah satu penyebab utama menurunnya kinerja mesin dan meningkatnya konsumsi bahan bakar.

Salah satu indikator lemahnya komitmen tersebut adalah pelaksanaan audit internal yang tidak disiplin. ISM Code Section 12 secara tegas menetapkan bahwa audit internal harus dilaksanakan minimal setiap 12 bulan untuk meninjau efektivitas implementasi sistem manajemen keselamatan, termasuk dalam aspek perawatan

mesin. Namun hasil pengamatan lapangan oleh DNV (2021) menunjukkan bahwa sebagian besar perusahaan pelayaran di kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, hanya melakukan audit setiap dua hingga tiga tahun. Akibatnya, banyak masalah teknis seperti kerusakan injector tidak terdeteksi sejak dini, dan baru diketahui ketika telah menimbulkan gangguan operasional serius. Ketidakteraturan audit ini menunjukkan kurangnya pengawasan terhadap pemenuhan standar teknis di lapangan.

Aspek lain yang mencerminkan rendahnya komitmen terhadap keselamatan adalah kebijakan pengadaan suku cadang. Dalam praktiknya, banyak perusahaan memilih suku cadang non-orisinil yang kualitasnya tidak setara dengan komponen standar pabrik demi menekan biaya operasional. Padahal ISO 19030-2:2016 dan ISO 9001:2015 telah menegaskan pentingnya pengendalian mutu dalam pemilihan komponen kritis seperti injector. Penggunaan nozzle injector tiruan atau tanpa sertifikasi OEM menyebabkan efisiensi pembakaran menurun secara drastis, bahkan hingga 15% menurut studi teknis MAN Energy Solutions. Praktik pengadaan yang mengutamakan biaya murah ini menurunkan keandalan mesin dalam jangka panjang, dan menciptakan risiko keselamatan tambahan.

Kurangnya penerapan sistem pemantauan kondisi (condition monitoring) juga menjadi refleksi lemahnya keseriusan manajemen dalam menjamin keselamatan teknis kapal. IMO melalui MSC.1/Circ.1620 telah merekomendasikan penggunaan sensor tekanan dan suhu pada sistem common-rail untuk mendeteksi potensi kegagalan injector sebelum mencapai titik kritis. Akan tetapi, adopsi teknologi ini masih sangat rendah. Data dari DNV (2021) mengungkapkan bahwa hanya sekitar 40% kapal berbendera Indonesia yang telah menerapkan pemantauan berbasis sensor ini. Rendahnya penetrasi teknologi tersebut menunjukkan bahwa investasi untuk peningkatan sistem perawatan belum menjadi prioritas utama bagi sebagian besar operator kapal.

Di sisi lain, aspek pelatihan teknis kru juga sering kali diabaikan, meskipun merupakan pilar utama dalam sistem perawatan berbasis kompetensi. STCW Convention Regulation III/1 mengatur bahwa kru teknik harus mendapatkan pelatihan berkala terkait sistem bahan bakar dan injeksi. Namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa banyak perusahaan pelayaran hanya menyediakan pelatihan dalam jumlah minimal, atau bahkan tidak menyelenggarakannya secara rutin. Survei internal Intermanager menunjukkan bahwa kru yang hanya mendapat pelatihan kurang dari 40 jam per tahun cenderung memiliki tingkat kesalahan teknis lebih tinggi, termasuk dalam menangani injector. Kondisi ini memperlihatkan bahwa lemahnya komitmen manajemen dalam menyusun program pengembangan SDM turut memperburuk kondisi pemeliharaan komponen mesin utama kapal.

E. Faktor Dari Luar Kapal

Cuaca

Cuaca laut yang ekstrem, terutama gelombang tinggi di atas 4 meter, dapat menciptakan getaran dinamis yang berlebihan pada mesin utama kapal, termasuk nozzle injector. Studi oleh Crua & Heikal (2023) menunjukkan bahwa fluktuasi beban mekanis ini dapat mengganggu tekanan pembukaan injector, sehingga mempercepat keausan komponen presisi. Meskipun SOLAS Chapter II-1 Regulation 26.9 mensyaratkan agar desain mesin mampu menahan beban dinamis karena kondisi laut buruk, banyak kapal tua belum diremajakan atau disesuaikan dengan standar tersebut, sehingga berisiko mengalami kerusakan injector saat beroperasi di gelombang tinggi.

Dalam menghadapi kondisi laut ekstrem, IMO MSC.1/Circ.1589 merekomendasikan pengurangan RPM mesin secara proaktif untuk mengurangi tekanan mekanis pada sistem propulsi. Pedoman ini menegaskan bahwa mempertahankan kecepatan tinggi saat melewati gelombang besar justru meningkatkan stres pada injector dan

komponen terkait. Meskipun pedoman ini ada, implementasinya masih kurang konsisten: banyak operator kapal mengabaikan instruksi ini demi mempertahankan kecepatan pelayaran. Fakta bahwa banyak kapal tetap menggunakan RPM tinggi di tengah cuaca buruk menimbulkan risiko kerusakan injector yang dapat berujung pada penurunan daya atau bahkan kegagalan fungsi mesin.

Selain getaran gelombang, suhu lingkungan yang ekstrem juga berpengaruh signifikan terhadap injector. MESI (MAN Energy Solutions Industry) pada 2021 menunjukkan bahwa ketika mesin dioperasikan tanpa penyesuaian terhadap suhu di bawah 5 °C atau di atas 35 °C, komponen barrel dan nozzle mengalami keausan yang lebih cepat. Meskipun data lengkapnya tidak tersedia secara daring, temuan ini sejalan dengan rekomendasi ISO 3046-1:2020, yaitu penyesuaian timing injeksi berdasarkan suhu lingkungan untuk menjaga performa dan umur pakai injector.

Tanpa penerapan teknologi monitoring yang tepat, kapal akan mengalami kesulitan mendeteksi gejala awal kerusakan injector akibat kombinasi cuaca dan suhu ekstrem. Sistem *condition monitoring* seperti pemasangan sensor tekanan dan suhu pada common rail injector sangat dianjurkan, tapi belum diadopsi secara luas. Menurut laporan Crua & Heikal (2023), hanya sebagian kecil kapal yang memanfaatkan sensor semacam itu untuk menilai perubahan tekanan pembukaan injector akibat guncangan laut atau temperatur ekstrem.