

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK
SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA**



AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO
NIT 09.21.003.1.02

Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK
SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA**



AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO
NIT 09.21.003.1.02

Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ainur Raihan Nafi Sukarto
Nomor Induk Taruna : 09.21.003.102
Jurusan : Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa Proposal yang saya buat dengan judul:

ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA

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

Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang diterapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 15 JANUARI2024


10000
METERAI
TEMPEL
51D74AMX336241450

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO

**LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR PROPOSAL KARYA ILMIAH
TERAPAN**

Judul : ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK
SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA

Nama Taruna : AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO

NIT : 09.21.003.1.02

Program Studi : Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

SURABAYA, 28 DESEMBER 2024

Pembimbing I

ERENKI IMANTO, S.SiT, M.Pd

Penata Tk. 1 (III/d)

NIP. 19821006 201012 1 001

Menyetujui:

Pembimbing II

AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd

Penata Tk. 1 (IV/d)

NIP. 19800517 200502 1 003

Mengetahui

Ketua Prodi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya

MONIKA RETNO GUNARTI, M.Pd, M.Mar.E

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 19760528 200912 2 002

LEMBAR PERSETUJUAN SEMINAR HASIL KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK
SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA
Nama Taruna : AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO
NIT : 09.21.003.1.02
Program Studi : Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

SURABAYA, 20 MEI2024

Menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

FRENKI IMANTO, S.SiT, M.Pd

Penata Tk. 1 (III/d)

NIP. 19821006 201012 1 001

AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd

Penata Tk. 1 (III/d)

NIP. 19800517 200502 1 003

Mengetahui

Ketua Prodi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya

Dr. ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd., M.Mar.E

Penata Tk. 1 (III/d)

NIP. 19690531 200312 1 001

PENGESAHAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN
ANALISIS KEBOCORAN EXHAUST VALVE MESIN INDUK SILINDER
NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA

Disusun dan Diajukan Oleh :

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO

NIT. 09.21.003.1.02

Ahli Teknik Tingkat IV

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian KIT


Pada tanggal, 16 JANUARI 2025

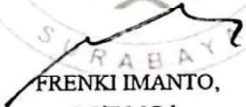
Menyetujui


Penguji II

Penguji I

Penguji III

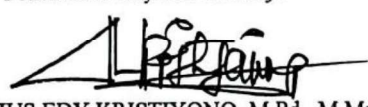

EKO PRAYITNO,
S.PdI, M.M.
Penata (III/C)
NIP. 197603222002121002


FRENKI IMANTO,
S.SiT, M.Pd
Penata Tk. 1 (III/d)
NIP. 19821006 201012 1 001


AKHMAD KASAN
GUPRON, M.Pd
Penata Tk. 1 (III/d)
NIP. 19800517 200502 1 003

Mengetahui

Ketua Jurusan Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya


Dr. ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Pd., M.Mar.E.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19690531 200312 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN HASIL
KARYA ILMIAH TERAPAN**

ANALISIS KEBOCORAN EXHAUST VALVE

MESIN INDUK SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA

Disusun dan diajukan oleh:

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO
NIT 09.21.003.1.02
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL

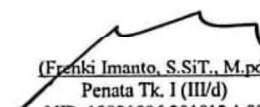
Telah dipresentasikan di depan panitia seminar Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya
Pada tanggal, 10 Juni 2025


Menyetujui


Penguji I

Penguji II


Penguji III


(Frenki Imanto, S.SiT., M.pd.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19821006 201012 1 001


(Dr. Antonius Edy Kristiyono,
M.Pd., M.Mar.E.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19690531 200312 1 001


(Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.)
Penata (III/c)
NIP. 19820302 200604 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya


(Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19690531 200312 1 001

ABSTRAK

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO, Analisis Kebocoran *Exhaust Valve* Mesin Induk Silinder Nomor 4 & 5 di MV Natascha. Dibimbing oleh Bapak Frenki Imanto, S.SiT, M.Pd dan Bapak Akhmad Kasan Gupron, M.Pd.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebocoran *exhaust valve* mesin induk silinder nomor 4 dan 5 pada kapal MV Natascha. Berisi mengenai dampak terhadap kinerja mesin, faktor penyebab, dan upaya penanganan yang tepat untuk kebocoran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi, dokumentasi, dan wawancara langsung dengan kru kapal. Penelitian ini menggunakan metode ETA (*event tree analysis*) untuk mengetahui urutan dampak yang timbul, mulai dari yang terlihat langsung seperti temperatur kerja dan yang tidak terlihat langsung seperti performa mesin sesuai *instruction manual book*. Penelitian ini juga menggunakan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi penyebab kebocoran di antaranya adalah faktor manusia, kesalahan manajemen, kesalahan inspeksi, serta perbedaan metode perawatan. Sehingga dalam mencari penanganan yang tepat dilakukan dengan meninjau penyebab, yaitu dilakukan overhaul setelah kapal berhenti beroperasi, rekomendasi manajemen, inspeksi pengukuran *spindle* secara presisi, serta perawatan menggunakan teknik yang sesuai dengan *instruction manual book*. Penelitian ini menegaskan pentingnya mengetahui dampak *exhaust valve* secara optimal untuk menjaga keandalan mesin induk kapal saat beroperasi, serta menjaga keandalannya melalui koreksi terhadap faktor-faktor yang menjadi penyebab kebocoran *exhaust valve* mesin induk silinder nomor 4 & 5 di MV Natascha.

Kata Kunci: Kebocoran *Exhaust Valve*, Kinerja *Exhaust Valve*, Perawatan *Exhaust Valve*, Mesin Induk Kapal.

ABSTRACT

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO, *Analysis of Exhaust Valve Leakage of Main Engine Cylinder Number 4 & 5 on MV Natascha. Supervised by Mr. Frenki Imanto, S.SiT, M.Pd and Mr. Akhmad Kasan Gupron, M.Pd.*

This study aims to analyze the exhaust valve leakage of main engine cylinder number 4 and 5 on the MV Natascha ship which contains the impact on engine performance, causal factors, and handling efforts made. The research method used is a qualitative method with data collection techniques through observation, documentation, and direct interviews with the ship's crew. This study uses the ETA (event tree analysis) method to determine the sequence of impacts that arise, starting from the easily visible. And also using a fishbone diagram to identify the cause of the leak and the right handling of the leak. The results of the study showed that the exhaust valve leak caused an increase in the working temperature of the exhaust valve. This leak also has an impact on decreasing engine performance. The factors causing the leak include human factors, management errors, inspection errors, and differences in maintenance methods. Therefore, proper handling efforts need to be carried out on each factor. The handling is, overhaul after the ship stops operating, management recommendations, precise spindle measurement inspections, and maintenance using techniques in accordance with the instruction manual book. This study emphasizes the importance of knowing the impact of the exhaust valve optimally to maintain the reliability of the ship's main engine when operating, and maintaining its reliability through correction of the factors that cause exhaust valve leakage of the main engine cylinders number 4 & 5 on the MV Natascha.

Keywords: *Exhaust Valve Leakage, Exhaust Valve Performance, Exhaust Valve Maintenance, Ship's Main Engine.*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini dengan judul “**ANALISIS KEBOCORAN *EXHAUST VALVE* MESIN INDUK SILINDER NOMOR 4 & 5 MV NATASCHA**”

Penulis menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam gaya penulisan, kosakata, struktur kalimat, serta penjelasan informasi dalam Karya Ilmiah Terapan ini karena keterbatasan penulis dalam memahami secara menyeluruh materi dan data yang dikumpulkan.

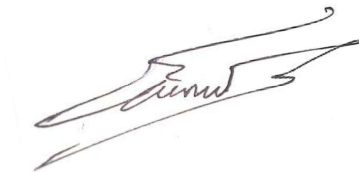
Penulis ingin menggunakan kesempatan ini untuk mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, antara lain:

1. Yth. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E., selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya.
2. Yth. Ibu Monika Retno Gunarti, S.Si.T., M.Pd. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal Politeknik Pelayaran Surabaya.
3. Yth. Bapak Frenki Imanto, S.SiT., M.Pd. selaku dosen pembimbing 1 materi.
4. Yth. Bapak Akhmad Kasan Gupron, M.Pd. selaku dosen pembimbing II penulisan Karya Ilmiah Terapan.
5. Yth. Bapak/Ibu Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya, khususnya program studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta wawasan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis dengan lancar dan baik.
6. Yth. Bapak Sunarto selaku Direktur Utama PT Pelayaran Gurita Lintas Samudera yang telah bersedia menerima penulis untuk dapat praktek berlayar di kapal MV Natascha.
7. Yth. *Capt.* Rachmat Subagio M.Mar. selaku Nahkoda dan *Chief* Malim Dewana selaku KKM MV Natascha telah memberikan ilmu dan bimbingan serta izin untuk melaksanakan praktek berlayar selama 12 bulan
8. Seluruh *crew* MV Natascha, khusus nya kru *engine department* yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pengarahan tentang permesinan sehingga penulis dapat menyusun karya ilmiah terapan ini dengan baik
9. Seluruh keluarga saya yang telah memberikan doa dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah terapan ini dengan lancar dan baik.
10. Seluruh Taruna/I Politeknik Pelayaran Surabaya, khususnya Angkatan XII dan teman-teman kelas D-IV TRPK. yang telah memberikan doa dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah terapan ini,

Akhirnya, penulis yakin bahwa baik pembaca maupun dirinya sendiri akan menganggap Karya Ilmiah Terapan ini sebagai karunia yang maha kuasa. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membimbing dan melindungi mereka yang

tengah melakukan penelitian yang pada akhirnya akan diwujudkan dalam karya ilmiah terapan.

Surabaya, 7 Juni 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ainur', with a stylized, sweeping flourish extending to the right.

AINUR RAIHAN NAFI SUKARTO

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| JUDUL | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | ii |
| PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN | iii |
| PERSETUJUAN SEMINAR HASIL | iv |
| PENGESAHAN SEMINAR PROPOSAL | v |
| PENGESAHAN SEMINAR HASIL..... | vi |
| ABSTRAK | vii |
| <i>ABSTRACT</i>..... | viii |
| KATA PENGANTAR..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 4 |
| C. Batasan Masalah..... | 5 |
| D. Tujuan Penelitian | 5 |
| E. Manfaat Penelitian | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya | 7 |
| B. Landasan Teori..... | 9 |
| C. Kerangka Pikir Penelitian | 26 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODE PENELITIAN | 27 |
| A. Jenis Penelitian..... | 27 |
| B. Tempat Dan Waktu Penelitian | 28 |
| C. Sumber Data..... | 28 |
| D. Teknik Pengumpulan Data..... | 29 |
| E. Teknik Analisis Data..... | 31 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 36 |
| A. Gambaran Umum Subjek Penelitian..... | 36 |
| B. Hasil Penelitian | 38 |
| C. Pembahasan..... | 64 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 79 |
| A. Kesimpulan | 79 |
| B. Saran..... | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | 82 |
| LAMPIRAN..... | 84 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Mesin Diesel 2 Tak..... | 15 |
| Gambar 2.2 <i>Exhaust Valve</i> | 18 |
| Gambar 2.3 <i>Exhaust Valve Cylinder</i> | 18 |
| Gambar 2.4 Pengukuran Celah..... | 21 |
| Gambar 2.5 Jarak Antar Poros Katup Dan Selongsong..... | 22 |
| Gambar 2.6 Pengukuran <i>Valve Spindle & Seat</i> Dengan <i>Template</i> | 22 |
| Gambar 2.7 <i>Typical Temperature Distribution Of Nimonic Spindle</i> | 23 |
| Gambar 2.8 <i>Low Temperature Corrosion</i> | 24 |
| Gambar 2.9 <i>Cobble Stone Corrosion</i> | 25 |
| Gambar 2.10 <i>Carbon Deposits</i> | 25 |
| Gambar 2.11 Kerangka Pikir Penelitian..... | 26 |
| Gambar 3.1 Kerangka Diagram <i>Event Tree Analysis</i> | 33 |
| Gambar 3.1 Kerangka Diagram <i>Fishbone Analysis</i> | 35 |
| Gambar 4.1 MV Natascha..... | 36 |
| Gambar 4.2 <i>Event Tree Analysis</i> Dampak Kebocoran Terhadap Kinerja Mesin.. | 59 |
| Gambar 4.3 <i>Fishbone Diagram</i> Terjadi Keretakan <i>Spindle Exhaust Valve</i> | 61 |
| Gambar 4.4 <i>Fishbone Diagram</i> Resiko Minimal Terhadap Terjadinya Keretakan <i>Spindle Exhaust Valve</i> | 63 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya..... | 7 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin Induk DU Wartsilla 6RT-flex50..... | 38 |
| Tabel 4.2 Performa Mesin Induk Sebelum, Saat, Dan Setelah Kebocoran | 46 |
| Tabel 4.3 <i>Interpretation Of Indicator Diagrams And Corresponding Engine Adjustment</i> | 50 |
| Tabel 4.4 Ketelitian <i>Grinding Spindle & seat</i> | 51 |
| Tabel 4.5 Standar Ideal & Kondisi Aktual <i>Exhaust Gas Temperature After Cylinder</i> | 66 |
| Tabel 4.6 Standar Ideal & Kondisi Aktual Temperatur FWJC..... | 66 |
| Tabel 4.7 Standar Ideal & Kondisi Aktual Performa Mesin Induk..... | 67 |
| Tabel 4.8 Tidak Terjadi Hal Lain Seperti Pada <i>Instruction Manual Book</i> | 68 |
| Tabel 4.9 Kinerja <i>Exhaust Valve</i> Setelah <i>Overhaul</i> | 72 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1 <i>Ship Particular</i> MV Natascha | 83 |
| Lampiran 2 Validasi Isi Rubrik Wawancara | 84 |
| Lampiran 3 Validasi Fungsi Rubrik Wawancara | 86 |
| Lampiran 4 Rubrik Wawancara Dengan KKM | 88 |
| Lampiran 5 Rubrik Wawancara Dengan Masinis 2 | 91 |
| Lampiran 5 Rubrik Wawancara Dengan Masinis 3 | 93 |
| Lampiran 7 Catatan Observasi Penulis | 95 |
| Lampiran 8 Catatan Observasi Penulis | 96 |
| Lampiran 9 <i>Instruction Manual Book</i> Mengenai <i>Interpretation Of Indicator Diagrams And Corresponding Engine Adjustment</i> | 97 |
| Lampiran 10 <i>Instruction Manual Book</i> Mengenai <i>Trend Of Exhaust Gas Temperatur After Cylinder</i> | 97 |
| Lampiran 11 <i>Insruction Manual Book</i> Mengenai Gambar Pengukuran <i>Spindle & Seat Menggunakan Template</i> | 98 |
| Lampiran 12 Laporan Perbaikan <i>Exhaust Valve</i> Mesin Induk Silinder Nomor 4 & 5 | 99 |
| Lampiran 13 Gambar <i>Log Book</i> Kebocoran Gas Buang Silinder Nomor 5 Mesin Induk MV Natascha | 100 |
| Lampiran 14 Gambar <i>Log Book</i> Kebocoran Gas Buang Silinder Nomor 4 Mesin Induk MV Natascha | 100 |
| Lampiran 15 Gambar Kertas Indikator Tes Performa Mesin Induk Silinder Nomor 4 | 101 |
| Lampiran 15 Gambar Kertas Indikator Tes Performa Mesin Induk Silinder Nomor 5 | 101 |
| Lampiran 17 Grafik Stroke Sensor Mesin Induk Silinder Nomor 4 & 5 | 102 |
| Lampiran 18 Alat Tes Performa Dan Ukuran Skalanya | 102 |
| Lampiran 19 Gambar <i>Spindle Exhaust Valve</i> Silinder Nomor 4 | 102 |
| Lampiran 20 Gambar <i>Spindle Exhaust Valve</i> Silinder Nomor 5 | 102 |
| Lampiran 21 <i>Spindle Exhaust Valve</i> Mesin Induk Yang Bocor | 103 |
| Lampiran 22 Pergantian <i>Exhaust Valve</i> Mesin Induk Dan Kadet Melakukan Penanganan <i>Exhaust Valve</i> Mesin Induk Bersama Masinis 2 | 103 |
| Lampiran 23 Menentukan Titik Tengah Pada <i>Spindle & Seat Valve</i> | 103 |
| Lampiran 24 Penyesuaian Derajat Kemiringan <i>Grinding Machine</i> Terhadap <i>Valve Spindle & Seat</i> Mesin Induk | 104 |
| Lampiran 25 Mengatur Ketinggian <i>Grinding Tools Spindle & Seat Exhaust Valve</i> Mesin Induk | 104 |
| Lampiran 25 Perawatan <i>Spindle & Seat Exhaust Valve</i> Mesin Induk Menggunakan Teknik <i>Grinding</i> | 104 |

| | |
|--|-----|
| Lampiran 27 Perawatan <i>Spindle & Seat Exhaust Valve</i> Mesin Induk Menggunakan Teknik <i>Lapping</i> | 104 |
|--|-----|

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri maritim merupakan salah satu sektor vital yang menopang kegiatan perdagangan internasional. Sebagai moda transportasi utama yang memiliki peran strategis dalam transportasi perdagangan, operasional yang lancar sangat dibutuhkan dalam *supply chain* perdagangan. Keandalan operasional kapal sangat dipengaruhi oleh performa mesin induk, yaitu mesin penggerak utama yang menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kapal melewati perairan. Mesin induk kapal yang umumnya berjenis diesel 2-tak beroperasi dengan tekanan dan temperatur tinggi, sehingga setiap komponennya harus bekerja optimal dan saling mendukung.

Dalam departemen mesin, penulis perlu memerhatikan keselamatan operasional kapal terutama kondisi mesin induk. Salah satu komponen kritis pada mesin induk adalah *exhaust valve*. Fungsi utama komponen ini adalah mengatur pelepasan gas sisa hasil pembakaran dari ruang bakar menuju sistem pembuangan. Kinerja *exhaust valve* yang baik akan memastikan siklus pembakaran berjalan sempurna, menjaga tekanan optimal dalam silinder, serta mencegah kebocoran gas pembakaran. Namun, jika terjadi kebocoran pada *exhaust valve*, maka siklus pembakaran akan terganggu dan mesin berjalan abnormal. Kebocoran ini tidak hanya menyebabkan keluarnya gas panas ke jalur yang tidak semestinya, tetapi juga berdampak pada meningkatnya temperatur kerja *exhaust valve* hingga dampak lainnya akibat kebocoran *exhaust valve*.

Masalah kebocoran *exhaust valve* ini bersifat *urgent* karena berdampak langsung pada keselamatan pelayaran, keandalan mesin, dan efisiensi operasional kapal. Jika tidak ditangani secara tuntas, risiko terjadinya kerusakan lebih besar pada mesin induk akan meningkat, yang dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman, kerugian ekonomi, hingga potensi bahaya di laut akibat kegagalan mesin di tengah pelayaran. Kegagalan mesin ini penulis alami saat melakukan praktik berlayar rute Kalimantan Timur-Jawa Timur.

Berawal pada hari minggu saat penulis berdinas jaga, pada tanggal 14 Januari 2024, silinder nomor 4 pada mesin induk diesel 2 tak di MV Natascha mengalami sedikit gangguan, diantaranya naiknya suhu gas buang pada 1 silinder yakni 420 °C, hal ini diiringi dengan sedikit kenaikan pada pendingin air tawar. Pada saat Masinis 3 memantau kegiatan jaga mesin saat jam jaganya, beliau memutuskan untuk mencerat *air spring* dari *exhaust valve* untuk berjaga-jaga akan kondensasi udara bertekanan pada alur *air spring*, tetapi tidak juga berefek, tekanan *air spring* masih tidak kurang dari 5,5 bar. Hal itu membuat penulis berpikir bahwasannya gangguan ini berdampak pada kinerja *exhaust valve*. Beberapa menit kemudian, temperatur gas buang hasil penutupan *exhaust valve* terhadap pembakaran mulai meningkat. Berlanjut dari yang awalnya 420 °C meningkat menjadi 440 °C. Akan tetapi, alhasil mesin induk berjalan dengan temperature gas buang yang meningkat lebih tinggi yakni sampai 490 °C dan *alarm exhaust gas temperature high* sudah berbunyi pada silinder nomor 4.

Karena sudah berbunyi alarm dan gas buang terus meningkat, masinis 2 dan KKM yang telah dikabari oleh *oiler*, memutuskan untuk pemberhentian kapal dan mengidentifikasi lebih lanjut. Pimpinan memerintahkan kapal agar

cepat berlabuh kepada mualim jaga dan menurunkan RPM dari anjungan dari 98 ke 95 RPM, mualim jaga memberitahu kapten akan laporan dari masinis 2 tentang kerusakan insidental mesin. Daratan terendah yakni di tepi laut madura menjadi tujuan untuk berlabuh perintah dari kapten, dan kru *departemen* mesin pun melakukan pergantian *exhaust valve* dengan *spare* yang sudah tersedia. Masinis 2 melakukan tes performa dan lain-lain. Seluruh kru *departemen* mesin berkumpul dan bersiap untuk melakukan *overhaul* dipimpin oleh KKM.

Hal yang sama terulang lagi, pada 4 bulan kemudian, tepatnya pada tanggal 5 Mei 2024, silinder nomor 5 dari mesin induk mengalami gangguan, yaitu kenaikan suhu pada silinder berkisar pada 450 °C, kenaikan diawali pada temperatur yang berkisar pada 415 °C. Hal ini tak lepas dengan identifikasi pada suara mesin yang berbeda dari biasanya juga, tetapi belum dapat dipastikan gangguannya. Saat penulis berdinas jaga bersama masinis 2, masinis melakukan tes performa mesin induk untuk memeriksa tekanan kompresi dan tekanan pembakaran, dan bunyi yang tidak normal terdengar. Mesin dapat berjalan sesuai akan tetapi masinis memerintahkan untuk menurunkan RPM dari 98 ke 95 RPM agar beban pada *exhaust valve* lebih ringan.

Hal ini menjadi identifikasi masinis 2 untuk memutuskan untuk *overhaul* silinder nomor 5 setelah sampai pelabuhan Paiton, tepatnya pada jam 07.30 WIB, dimana temperature gas buang sudah mencapai 448 °C. *Overhaul* dilaksanakan saat kapal berlabuh, karena jam kerja silinder juga sudah mendekati waktu untuk *maintenance*, jenis general *overhaul* yang dilakukan di muara pantai. *Overhaul* dilakukan, dan ternyata timbul retakan pada *spindle exhaust valve*. Kru kamar mesin mulai mengganti *exhaust valve* dengan *spare*

yang tersedia dan sudah teruji. Dan berakhir mesin kembali normal dengan keefisienan yang lebih baik pada *exhaust valve* tersebut.

Sangat perlu bagi penulis untuk meneliti tentang dampak yang disebabkan oleh satu silinder yang terjadi kebocoran pada *exhaust valve* selaku kadet di kapal agar kebocoran dapat diidentifikasi lebih lanjut dan dapat diminimalisir. Identifikasi pada mesin induk dengan kontrol semi elektrik merupakan daya tarik tersendiri bagi penulis. Dan juga, penelusuran terhadap faktor penyebab sangat penting, sebagai evaluasi untuk menemukan penanganan yang tepat terhadap kebocoran *exhaust valve*. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami fenomena kebocoran *exhaust valve* yang terjadi di kapal, serta menghasilkan rekomendasi perawatan yang lebih optimal dan sesuai standar operasional mesin, sehingga dapat meningkatkan keandalan mesin induk kapal dan mendukung keselamatan serta efisiensi pelayaran. Dengan pemaparan tersebut, maka penulisan karya ilmiah terapan perlu penulis buat dengan judul “**Analisis Kebocoran Exhaust Valve Mesin Induk Silinder Nomor 4 & 5 MV Natascha**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dampak kebocoran terhadap kinerja *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha?
2. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan bocornya *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha?

3. Bagaimana cara penanganan yang tepat serta efektifitas kinerja dari *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha?

C. Batasan Masalah

Penulis menyadari betapa pentingnya menentukan batas-batas masalah saat menulis karya ilmiah terapan ini. Penelitian pun dibatasi dengan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan bocornya *exhaust valve* dan upaya menanganinya disertai efektifitasnya, dan juga bagaimana kebocoran ini berdampak pada kinerja *exhaust valve* itu sendiri pada Diesel United Wartsilla RT-Flex50 dengan sistem kontrol *common rail size 0*.

D. Tujuan Penelitian

Karya ilmiah terapan ini digunakan agar penulis dapat menjelaskan isi karya yang telah dihasilkan. Tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi bagaimana dampak kebocoran terhadap kinerja *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha.
2. Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan bocornya *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha.
3. Memahami cara penanganan yang tepat serta keefektifannya terhadap kinerja *exhaust valve* silinder nomor 4 & 5 di kapal MV Natascha.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari karya tulis terapan ini adalah sebagai berikut:

1. Secara Teoritis

- a. Untuk menambah pengetahuan secara teoritis bagi penulis maupun pembaca mengenai dampak yang terjadi pada satu silinder yang terjadi kebocoran *exhaust valve* mesin induk di kapal.
- b. Sebagai pemahaman bagi penulis maupun pembaca, menyediakan data dan informasi terkait analisis lebih lanjut untuk mendukung kebijakan dan regulasi yang lebih baik di masa depan.
- c. Sebagai bekal untuk penulis maupun pembaca, menjadi referensi bagi penelitian yang lebih mendalam mengenai teknologi mesin diesel serta peningkatan efisiensi kinerja *exhaust valve* mesin diesel di atas kapal.

2. Secara Praktis

- a. Untuk mengetahui secara langsung faktor-faktor penyebab kebocoran *exhaust valve* mesin induk di atas kapal agar dapat dievaluasi di kemudian hari dan dapat meminimalisir kejadian selanjutnya.
- b. Sebagai kontribusi masukan yang bermanfaat sebagai panduan analisis sehingga dapat meningkatkan kelancaran operasional kapal dan acuan dalam identifikasi penanganan bagi *exhaust valve* diesel 2 tak di kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.1 Review Penelitian Sebelumnya

| No. | Judul | Peneliti | Hasil Penelitian |
|-----|---|---|---|
| 1. | Analisa Kebocoran Katup Gas Buang Pada Mesin Induk Di KM. Tonasa Lines XV | M. Bagus Aditya, Carles Y.A. Nalle (2023) | Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan menemukan tiga penyebab utama kebocoran katup gas buang: keausan spindle dan seat valve akibat kurang perawatan, kelebihan jam kerja katup, serta sumbatan pada sistem air pendingin. Pencegahan dilakukan melalui penggerindaan spindle dan seat valve, perawatan rutin sesuai jam kerja, serta pembersihan jalur air pendingin. |
| 2. | Analisis Kerusakan <i>Exhaust valve</i> Yang Berpengaruh Terhadap Temperatur Gas Buang Mesin Induk Di MT. Kakap | Firman Yulian Arnanda (2020) | Penelitian ini menggunakan metode kualitatif. hasil penelitian yang diperoleh, bahwa faktor penyebab kerusakan <i>exhaust valve</i> pada mesin induk di MT. Kakap adalah tidak terlaksananya <i>PMS</i> , kurangnya pengetahuan dari <i>crew</i> mesin. Dampak yang ditimbulkan adalah naiknya temperatur gas buang akibat adanya pengendapan kerak pada pinggiran katup dan kedudukan katup, pengaturan celah katup tidak tepat. Upaya yang harus dilakukan adalah dengan melaksanakan perawatan <i>exhaust valve</i> sesuai dengan <i>PMS</i> , pengaturan celah katup sesuai dengan <i>instruction manual book</i> . |
| 3. | Analisis Kebocoran pada <i>Exhaust Valve</i> Mesin Induk di MT. MELAHIN P. 36 | Euguenius B. K. Bandaso, Mafrizal, Henny Pasandang (2021) | Hasil penelitian dari artikel menunjukkan bahwa kebocoran pada <i>exhaust valve</i> mesin induk menyebabkan peningkatan temperatur gas buang dan munculnya bunyi <i>knocking</i> pada ruang silinder mesin induk. Penelitian ini dilaksanakan selama satu tahun, dari 11 November 2017 hingga 11 November 2018, dengan menggunakan metode observasi dan pendekatan kualitatif di kapal MT. MELAHIN P.36. |
| 4. | Identifikasi Kebocoran Gas Buang Pada <i>Exhaust valve</i> di MV. Vinca | Fatahilah Muttaqin (2019) | Penelitian ini menggunakan metode kualitatif. Hasil Penelitian menyimpulkan bahwa Faktor penyebab kebocoran gas buang pada <i>exhaust valve</i> adalah keausan pada <i>spindle valve</i> yang disebabkan oleh adanya gesekan antara <i>spindle valve</i> dan <i>valve seat</i> atau kesalahan crew pada saat perawatan dan perbaikan <i>spindle valve</i> , keretakan pada <i>spindle valve</i> , penumpukan |

| No. | Judul | Peneliti | Hasil Penelitian |
|-----|--|---|--|
| | | | endapan karbon pada permukaan <i>valve</i> dan pengoperasian yang melebihi jam kerja. |
| 5. | Analisa Perawatan <i>Exhaust valve</i> Mesin Induk Untuk Menunjang Pengoperasian Mesin Di Kapal Westsea Gail | Paulus pongkessu, Mahadir Sirman, Helmonius Toding (2019) | Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, Hasil yang diperoleh setelah dianalisis menunjukkan bahwa pertama: terjadinya kerusakan pada katup buang di karenakan tidak dilaksanakannya perawatan sesuai dengan jadwalnya, kedua: Kegagalan katup yang mengalami pembebanan termal karena suhu tinggi dan tekanan di dalam silinder. Kondisi kegagalan karena suhu tinggi pada sifat mekanik bahan dan korosi terlihat berupa patahan pada lapisan katup buang serta adanya pengendapan (deposit) baik pada katup buang (<i>exhaust valve</i>) atau katup hisap. |

Tabel di atas dapat menjelaskan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan judul penulis yaitu “Analisis Kebocoran *Exhaust valve* Mesin Induk Silinder Nomor 4 & 5 MV Natascha”. Dari kelima penelitian pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa berbagai macam gangguan pada kinerja *exhaust valve* karena kurangnya memperhatikan dan menyepelekan perawatan. Terlebih lagi pada komponen krusial seperti *exhaust valve*.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada penyebab kebocoran *exhaust valve* akibat keausan, kurangnya perawatan, serta penanganan melalui penggerindaan dan pengaturan celah katup. Penelitian ini mewajibkan pemeriksaan kondisi kinerja mesin, sesuai *manual book* mesin DU Wartsilla 6RTFlex50 yang berbeda dari mesin pada penelitian sebelumnya. Selain itu, penelitian ini juga melalui pendekatan terhadap perawatan yang berbeda, sejak awal penulis prala hingga alat sesuai spesifikasi tiba di kapal, sehingga memberikan analisis yang lebih spesifik terhadap kondisi komponen.

B. Landasan Teori

Landasan teori dibuat dalam penelitian adalah untuk landasan memecahkan masalah, karena landasan teori tersebut digunakan untuk membantu permasalahan penulis selama melakukan praktik laut di atas kapal.

1. Analisis

Analisis adalah proses mengolah dan menguraikan data menjadi bagian-bagian penting agar mudah dipahami, diinterpretasikan, dan dijadikan dasar pengambilan kesimpulan (Sugiyono, 2017).

Proses kognitif analisis memerlukan pembedahan suatu keseluruhan menjadi elemen-elemen penyusunnya untuk mengidentifikasi elemen, hubungan, dan peranannya dalam suatu keseluruhan yang kohesif (Komaruddin, 2001).

Analisis adalah proses mencari dan menyatakan secara sistematis hasil-hasil pengamatan, wawancara, dan informasi lain untuk meningkatkan pemahaman terhadap kasus yang diteliti dan untuk mengevaluasinya sebagai panduan bagi orang lain (Rijali, 2018).

Oleh karena itu, analisis adalah proses menguraikan data atau informasi menjadi bagian-bagian penting agar lebih mudah dipahami. Proses ini membantu menemukan hubungan antar bagian dan melihat perannya dalam satu kesatuan, sehingga bisa digunakan untuk menarik kesimpulan atau menjadi panduan dalam memahami suatu masalah.

2. Kebocoran

Ketika suatu objek, baik yang dirancang seperti ruangan atau wadah, mengalami kerusakan yang menyebabkan munculnya celah atau retakan dan

memungkinkan zat, seperti gas, keluar, kondisi ini dikenal sebagai kebocoran (Mukti, 2018).

Kebocoran gas adalah pelepasan gas secara tidak terkendali dari sistem tertutup, seperti tabung atau pipa gas, ke lingkungan sekitarnya. Kebocoran ini dapat terjadi karena berbagai faktor seperti kegagalan material, kesalahan operasi, atau kerusakan pada sambungan pipa atau tabung (Unnikrishnan, 2017).

Kebocoran gas adalah pelepasan atau aliran gas yang tidak terkontrol dari suatu pipa atau sistem distribusi gas. Kebocoran ini dapat terjadi ketika ada perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar pipa akibat kerusakan struktural, seperti retakan, korosi, atau sambungan yang longgar (Ni et al., 2015).

Oleh karena itu, Kebocoran gas adalah pelepasan gas secara tidak terkendali dari sistem tertutup, seperti ruangan, tabung, atau pipa, akibat adanya celah atau retakan yang muncul karena kerusakan struktural atau operasional. Kondisi ini sering terjadi ketika perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar sistem mendorong gas keluar melalui kerusakan seperti retakan, korosi, atau sambungan yang longgar. Faktor penyebabnya meliputi kegagalan material, kesalahan dalam operasi, atau degradasi pada sambungan dan permukaan struktur.

3. Mesin Induk

a. Mesin Induk

Salah satu penggerak utama yang paling populer adalah mesin kalor, yaitu perangkat yang menggunakan energi termal, yang dapat dihasilkan

melalui pembakaran untuk melakukan kerja mekanis. Mesin kalor dibagi menjadi dua berdasarkan cara menghasilkan energi termal ini: mesin pembakaran internal dan mesin pembakaran eksternal (Purba, 1994).

Mesin diesel, yang juga dikenal sebagai mesin penyalaan kompresi, adalah bentuk mesin pembakaran *piston* di mana tekanan udara tinggi di ruang pembakaran menyebabkan bahan bakar terbakar. Proses pembakaran mesin diesel menghasilkan energi panas dan meningkatkan tekanan silinder, yang kemudian diubah menjadi energi mekanis pada poros engkol (Djeli & Saidah, 2017).

Dalam buku Mesin Diesel Penggerak Utama Kapal, menyatakan bahwa mesin diesel adalah satu pesawat yang mengubah energi potensial panas langsung menjadi energi mekanik, atau disebut juga *combustion engine* (Handoyo, 2015).

Oleh karena itu, mesin induk adalah mesin penggerak utama kapal yang memanfaatkan energi potensial panas menjadi energi mekanik kerja bolak-balik pada *piston*, sebuah mesin pembakaran dalam. Melalui gerakan bolak-balik *piston*, panas dan tekanan yang dihasilkan oleh silinder pembakaran internal diubah menjadi energi mekanik. Dengan gerakan engkol silinder, yang terdiri dari batang penghubung dan engkol yang digandengkan dengan tenaga *piston*, poros engkol mengubah gerakan bolak-balik *piston* menjadi energi putar.

b. Prinsip Kerja Mesin Diesel 2 Tak

Menurut Maanen (1983), proses kerja mesin diesel 2 tak berlangsung selama satu putaran poros engkol dan dibagi dalam dua langkah torak.

1) Langkah Hisap & Kompresi

Udara dihisap ke dalam silinder mesin selama langkah hisap dan dikompresi menjadi bentuk yang lebih padat selama langkah kompresi, sehingga meningkatkan suhu udara. Udara akan masuk melalui lubang udara yang mengelilingi dinding silinder saat katup buang terbuka dan *piston* berada di titik mati bawah. Saluran masuk memaksa udara masuk, dan *blower* atau *turbo* memaksa udara ke arah silinder. Setelah itu, *piston* akan naik, menutupi lubang udara dengan dinding *piston* dan menyebabkan katup buang menutup. Dan yang terjadi ketika *piston* baru bergerak $\frac{1}{4}$ ke TMA penutupan katup buang dan kompresi udara akan dimulai. Udara berhasil dipampatkan suhunya naik dan siap untuk dilakukan pembakaran.

2) Langkah Usaha & Buang

Gas buang mesin dikeluarkan selama langkah pembuangan, sedangkan proses pembakaran disebut sebagai langkah tenaga. Langkah tenaga terjadi saat *piston* mendekati TMA. Saat *piston* mencapai $\pm 8^\circ$ engkol sebelum TMA, pompa bahan bakar akan memindahkan bahan bakar ke injektor dan menyemprotkannya langsung ke dalam silinder, dan pembakaran terjadi pada suhu $\pm 1200^\circ$ Celsius. Pembakaran ini berlanjut hingga *piston* melewati $\pm 5^\circ$ engkol setelah TMA. Tenaga ekspansi yang dihasilkan oleh pembakaran akan memaksa *piston* untuk bergerak ke TMB. Sebelum *piston* mencapai TMB, katup buang terbuka. Pada posisi ini, lubang udara juga akan terbuka karena *piston* berada di bagian bawah. sehingga gas sisa

pembakaran terdorong keluar melalui katup buang oleh udara yang dihembuskan oleh *blower* atau *turbocharge*. Selama sumber bahan bakar berlanjut, proses ini akan terus berlangsung.

c. Komponen Mesin Diesel 2 Tak

Mesin diesel bervariasi dalam ukuran, bentuk, jumlah silinder dan konfigurasinya, serta karakteristik konstruksinya. Meskipun tampilannya berbeda, komponen utamanya memiliki fungsi yang sama. Hanya ada beberapa komponen utama yang berfungsi dalam mesin diesel komponen tambahan diperlukan untuk menghubungkan komponen atau mendukung komponen utama yang berfungsi. Silinder, kepala silinder, *piston*, poros engkol, bantalan poros engkol atau bantalan utama dan bantalan poros engkol, pompa bahan bakar dan nosel bahan bakar, serta poros engkol merupakan komponen-komponen utama yang berfungsi. Berbagai komponen mesin diesel, hal ini dapat dibagi menjadi kategori *general overhaul* dan *top overhaul* yang signifikan menurut perawatan dan perbaikan (Maleev, 1995).

Menurut Handoyo (2015), istilah "*top overhaul*" mengacu pada pekerjaan perawatan dan perbaikan yang sering dilakukan pada bagian atas mesin diesel. Elemen-elemen tersebut adalah:

1) Kepala Silinder

Pembakaran setiap silinder menimbulkan tekanan dan ledakan yang dirancang untuk dapat ditanggung oleh kepala silinder.

2) *Exhaust Valve*

Exhaust valve merupakan katup yang berfungsi sebagai pintu

pembuangan sisa gas hasil pembakaran ke dalam pipa pembuangan.

3) Saluran Gas Buang Pembakaran

Gas buang dikirim dari katup pembuangan ke cerobong asap melalui saluran keluar gas buang.

4) *Indicator Cock Set*

Peran penting dari keran indikator pada kepala silinder adalah untuk menyediakan sumber informasi komprehensif bagi para teknisi kapal mengenai keseluruhan proses pembakaran yang terjadi di dalam silinder mesin.

5) *Air Starting Valve*

Saat mesin dinyalakan, katup starter udara menggerakkan *piston* ke bawah dengan bertindak sebagai katup pasokan udara.

6) Pompa Bahan Bakar Dan Pengabut Bahan Bakar

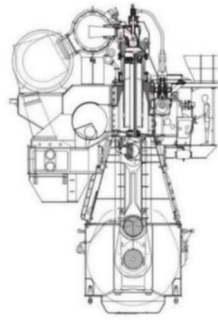
Bahan bakar dikompresi hingga bertekanan tinggi oleh pompa bahan bakar. Di dalam silinder mesin, katup injektor berfungsi sebagai penyemprot bahan bakar.

7) *Thermometer*

Merupakan alat untuk mengukur suhu.

8) *Manometer*

Digunakan untuk mengukur tekanan udara pada ruang tertutup.



Gambar 2.1 Mesin Diesel 2 Tak

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/intersection-two-stroke-low-speed-marine-engine-MAN-B-W-7S60MC-SourceEngine-Selection_fig1_324835430

4. *Exhaust Valve*

a. *Exhaust Valve*

Menurut Karyanto (2000), *exhaust valve* merupakan katup yang berfungsi sebagai pintu pembuka gas sisa hasil pembakaran sebagai saluran pembuangan. Katup dibagi menjadi dua bagian dalam karyanya, yaitu:

1) Katup Masuk

Untuk menyalurkan udara dari saluran masuk ke mesin, katup berfungsi sebagai pintu masuk udara. Pelat katup dibuat tipis untuk mengurangi beban komponen yang bekerja.

2) Katup Buang

Gas sisa hasil pembakaran dikirim ke pipa pembuangan melalui katup yang berfungsi sebagai pintu. Agar tahan panas dan mencegah perubahan bentuk, pelat katup lebih tebal daripada katup masuk.

a) Syarat Katup

Katup harus ringan, kuat dan mampu menahan getaran tinggi, dan tahan lama saat digunakan

b) Material Katup

Paduan yang terdiri dari baja, karbon, silikon-krom, nikel, tungsten, dan mangan digunakan untuk membuat katup.

b. Bagian-Bagian *Exhaust Valve*

Katup gas buang mempunyai bagian-bagian yang dapat diuraikan menjadi beberapa komponen utama, yaitu:

1) *Valve Housing*

Dudukan katup terletak di rumah katup. Lubang untuk poros katup, yang memiliki *spindle guide*, juga disertakan di rumah katup. Air tawar digunakan untuk mendinginkan rumah katup. Melalui transmisi air, air pendingin yang keluar dari penutup silinder diarahkan ke rumah katup dan kemudian dilepaskan melalui bagian atas rumah katup.

2) *Valve Seat*

Dudukan katup, yang terbuat dari baja dan berbentuk seperti kerucut saat ditempatkan di dalam kepala silinder, merupakan tempat kepala katup berada.

3) *Spindle Valve*

Kekerasan yang diperlukan di area dudukan katup spindel disediakan oleh material itu sendiri. Agar katup spindel dapat berputar saat mesin menyala, roda baling-baling telah ditambahkan di bagian bawah katup. Batang pengangkat diposisikan di atas silinder hidrolik katup buang untuk menunjukkan bahwa katup beroperasi dengan benar saat mesin menyala. Pergeseran teratur di tempat atas dan bawah batang pemeriksa selama pengujian menunjukkan putaran spindel.

4) *Air Cylinder*

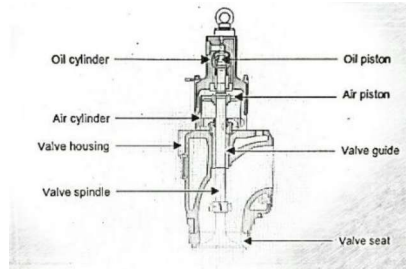
Di atas rumah katup terdapat tempat pemasangan silinder udara. Katup satu arah dalam silinder udara menutup *exhaust valve* dengan mengalirkan udara dari bawah *piston* udara. Dua cincin penyegel dipasang di bagian bawah rumah silinder udara. Jika penyegelan tidak memadai, lubang buang di antara cincin-cincin ini berfungsi sebagai katup pengaman.

5) *Hydraulic Cylinder*

Baut dan mur digunakan untuk mengencangkan silinder hidrolik ke rumah katup buang. *Piston* hidrolik di dalam silinder hidrolik menekan poros katup, sehingga katup buang terbuka.

6) *Sealing Air*

Di bagian bawah silinder udara, udara penyegel diposisikan di sekitar poros poros katup. Katup memungkinkan silinder udara untuk memasok udara penyegel, yang kemudian dialirkan di bawah cincin penyegel. Udara penyegel akan menghentikan *partikel* dan gas buang agar tidak bocor ke atas, yang akan mencemari sistem pneumatik gigi katup dan merusak permukaan. Selain itu, saat mesin berada dalam fase mesin yang sudah jadi, kotak katup ditempatkan untuk menghentikan aliran udara.

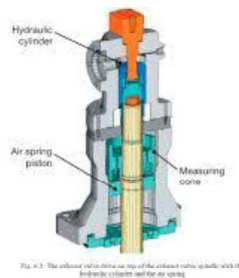


Gambar 2.2 *Exhaust Valve*

Sumber:

<https://www.marineengineersknowledge.com/2022/01/cylinder-cover-and-its-mountings-of-2.html>

Menurut Karyansky & Ozhenko (2019), dalam spesialisasi diesel tertentu, contohnya pada RT-flex berbeda pada bagian tertentu. Penggerak katup buang di atas poros katup dilengkapi dengan satu atau dua sensor posisi analog untuk memberikan umpan balik pada pengoperasian katup ke WECS-9520.



Gambar 2.3 *Exhaust Valve Cylinder*

Sumber: <https://mirmarine.net/stati-na-anglijskom/marine-engine/1239-electronically-controlled-wingd-rt-flex-x-engines>

c. Prinsip Kerja *Exhaust Valve*

Menurut Maanen (1983), proses kerja katup gas buang dibagi menjadi 2 (dua) yaitu:

1) Pembukaan Katup

Poros nok cam memberi tenaga pada *piston* pompa aktuator (penggerak pompa). Selama langkah *piston* ke atas, katup tekanan balik

menghentikan oli agar tidak kembali ke sistem penggantian. Pipa bertekanan tinggi silinder *piston* hidrolik mengangkat oli yang telah dipindahkan *piston* ke bagian hidrolik silinder di atas katup buang. Tekanan udara di silinder udara menjaga katup buang tetap tertutup jika oli silinder hidrolik tidak bertekanan. Katup akan terbuka terhadap tekanan udara di silinder udara jika *piston* menekan oli ke dalam silinder hidrolik. Baik tinggi sesuai bentuk *cam* akan memengaruhi tinggi dan kecepatan angkat katup. Gas buang akan bergerak cepat melalui *valve cage* saat katup buang terbuka. Akibatnya, terjadi kopling pada batang katup, yang menyebabkannya berputar. Dengan memutar katup, distribusi suhu yang seragam akan tercipta pada katup dan batang katup, yang mencegah katup berubah bentuk dan menutup secara tidak sempurna. Selain itu, dudukan katup akan tetap bersih selama siklus ini.

2) Penutupan Katup

Piston akan turun sekali lagi untuk melepaskan tekanan dalam silinder hidrolik setelah *roller* (poros bubungan) mencapai titik tertingginya. Mempertahankan tekanan udara dalam silinder udara antara 5,5 dan 6 bar memaksa *piston* hidrolik silinder dan katup buang naik sekali lagi, menyebabkan katup kembali ke posisi tertutup. Pena peredam menjaga katup agar tidak terlalu keras menghantam dudukan saat tertutup.

5. Pemeriksaan *Exhaust Valve*

Menurut Muttaqin (2019), dalam penelitiannya beberapa hal yang perlu diperiksa pada saat beroperasi:

a. Suhu Gas Buang

Suhu gas buang standar berkisar antara 390-420 °C. Untuk memeriksa suhu gas buang, periksa termometer pada *manifold* gas buang. Pemeriksaan ini dapat digunakan untuk mengetahui kondisi katup buang. Kerusakan pada katup buang biasanya menjadi penyebab suhu gas buang, dan suhu di dalam silinder sama dengan suhu gas yang mengalir melalui manifold buang.

b. Suara Katup

Salah satu indikator kinerja katup pembuangan yang buruk, seperti pelumasan yang tidak memadai dan perubahan jarak bebas, adalah munculnya suara keras yang keluar dari katup.

c. Tekanan Air Pendingin

Pada blok manometer di bagian depan mesin dapat digunakan untuk memeriksa tekanan pendingin. Ini untuk menilai kelancaran katup pembuangan sistem pendingin, serta kelancaran pompa pendingin air tawar dan ruang air pendingin.

d. Suhu Air Pendingin

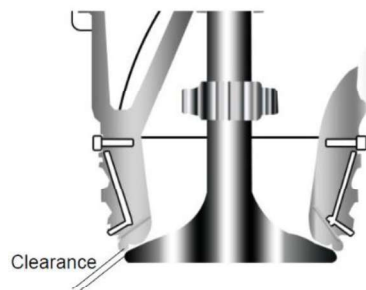
Pada saluran masuk air tawar pendingin ke katup pembuangan terdapat termometer yang menunjukkan suhu pendingin. Agar katup pembuangan dapat mendinginkan dengan baik sesuai fungsinya, maka hal ini dimaksudkan untuk mengukur suhu air tawar yang masuk ke sistem katup pembuangan.

6. Pemeriksaan *Valve Bushing, Spindle, & Seating*

a. Pengukuran Celah

Menurut Suharto (2020), pengaturan standar untuk celah katup, yang diukur saat mesin dingin, adalah 0,60 mm. Celah katup dapat dipertahankan dengan melakukan pemeriksaan ini setelah perjalanan yang cukup panjang atau di akhir setiap perjalanan.

Menurut Karyansky & Ozhenko (2019), Periksa jarak antara katup dan dudukan menggunakan pengukur celah. Kedalaman 15 mm harus dicapai oleh pengukur celah 1 mm. Ini untuk menjamin adanya jarak antara poros dan bagian luar permukaan dudukan rumah katup.

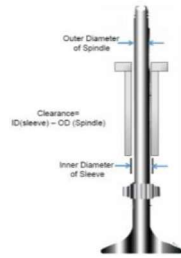


Gambar 2.4 Pengukuran Celah

Sumber: <https://mirmarine.net/stati-na-anglijskom/marine-engine/391-exhaust-valve-procedures-for-inspection-and-calibration>

b. Jarak Antara Poros Katup Dan Selongsong

Hal ini ditentukan dengan mengukur selisih antara diameter luar poros katup dan diameter dalam selongsong. Selongsong harus memiliki jarak maksimum 1 mm di bagian atas dan 2 mm di bagian bawah.

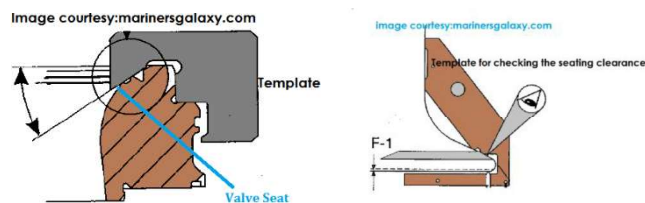


Gambar 2.5 Jarak Antar Poros Katup Dan Selongsong

Sumber: <https://mirmarine.net/stati-na-anglijskom/marine-engine/391-exhaust-valve-procedures-for-inspection-and-calibration>

c. Pengukuran *Valve Spindle & Seat*

Menurut Ashish (2018), *template* digunakan untuk membantu proses pemeriksaan. Tujuan pemeriksaan adalah untuk menentukan apakah jarak bebas berada dalam batas yang sesuai. Membersihkan dudukan katup diperlukan untuk membuang endapan karbon sebelum menerapkan *template*. Dudukan katup perlu segera diperbaiki jika terdapat keausan, bopeng, atau luka yang dapat mencegah katup spindel menutup. Mesin penggiling katup buang dapat digunakan untuk perbaikan ini.



Gambar 2.6 Pengukuran *Valve Spindle & Seat* Dengan *Template*

Sumber: <https://marinersgalaxy.com/main-engine-exhaust-valve-parts-working-overhaul-procedure/>

Untuk memperoleh hasil pengukuran permukaan yang sebenarnya, endapan karbon hitam harus dihilangkan sebelum pengukuran. Untuk memverifikasi bahwa poros spindel katup berfungsi dengan baik, pengukuran poros juga diperlukan. Menempatkan salah satu ujung poros pada titik putar dan ujung lainnya akan memungkinkan Anda melakukan

pemeriksaan menggunakan *dial gauge*. Pengukur dial kemudian dapat dimasukkan untuk menentukan apakah poros masih dalam kondisi baik atau tidak.

d. Keausan *Valve Spindle & Seat*

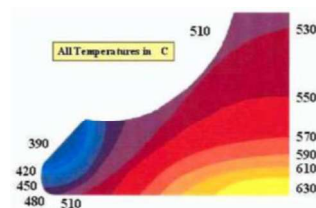
Menurut Fellmann et al. (2004), dalam penelitiannya, penyebab keausan katup buang adalah sebagai berikut.

1) Keausan Adhesi dan Abrasi:

Keausan ini sering terjadi di area batang katup (*valve stem*) akibat gesekan antara batang katup dan pemandu (*valve guide*). Pada mesin MAN-B&W MC, batang katup dengan lapisan krom keras mengalami keausan setelah 12.000-18.000 jam operasi. Dengan teknologi *High Velocity Oxy Fuel* (HVOF) *coating*, TBO (*Time Between Overhaul*) bisa meningkat hingga 24.000-36.000 jam.

2) Kelelahan Siklus Rendah (*Low Cycle Fatigue*)

Katup mengalami stres termal tinggi, menyebabkan retakan mikro yang berujung pada kegagalan katastropik. Retakan ini biasanya dimulai di radius bawah kepala katup dan menyebar hingga menyebabkan bagian katup terjatuh ke ruang bakar.



Gambar 2.7 *Typical Temperature Distribution Of Nimonic Spindle*

Sumber: Fellmann, Groß, & Ludwig (2021)

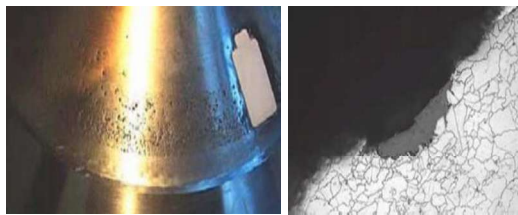
Spindel katup RTA menghadapi suhu operasi tertinggi, sedangkan spindel katup MC dan UEC dirancang untuk suhu dan sifat

mekanis yang lebih rendah. Spindel katup standar memiliki kelemahan terhadap korosi suhu tinggi dan rendah, tetapi lebih unggul dalam hal kelelahan siklus rendah, dengan risiko kegagalan fatal yang jarang terjadi.

Alasan pertama adalah retakan yang dimulai pada radius bawah kepala. Setelah retakan mikro mencapai panjang kritis, kecepatan pertumbuhan retakan meningkat. Kegagalan dahsyat terjadi, dengan bagian-bagian spindel jatuh ke dalam ruang pembakaran. kedua adalah retakan mikro mulai dari diameter luar dasar katup. Setelah mencapai area dudukan, terjadi *blow-by* dan poros katup hancur.

3) Korosi Suhu Rendah

Hingga 5% bahan bakar berat mengandung sulfur. Asam sulfat mengembun menjadi cairan dan dapat merusak permukaan logam jika permukaan yang terbuka berada pada suhu lebih rendah dari titik embunnya. Asam sulfat pekat dapat merusak poros batang katup, pemandu, bagian bawah, dan rumah katup jika mengembun dalam jumlah besar. Besi tuang sangat terkorosi oleh asam sulfat.



Gambar 2.8 *Low Temperature Corrosion*
Sumber: Fellmann, Groß, & Ludwig (2021)

4) Korosi Suhu Tinggi

"*Cobble stone corrosion*" adalah zona korosi suhu tinggi utama yang sebagian besar memengaruhi bagian bawah poros katup. Bahan

katup dan jenis mesin menentukan laju keausan, yang berkisar antara 0,2 hingga 1,0 mm per 1.000 jam. Batas produksi ulang baru tercapai setelah 12 mm. Hasilnya, *Time between overhaul* (TBO) berada di antara 12.000 dan 60.000 jam.



Gambar 2.9 *Cobble Stone Corrosion*

Sumber: Fellmann, Groß, & Ludwig (2021)

5) Pembentukan Deposit dan Tanda Tekanan (*Dent Marks*)

Endapan sisa pembakaran dan oksidasi bahan bakar menimbulkan tanda tekanan pada *valve seat*. Pembentukan endapan karbon pada katup buang berkontribusi secara signifikan terhadap keausan katup. Proses polimerisasi termal dan oksidasi parsial yang terjadi pada gas buang menciptakan *partikel* karbon yang menempel pada permukaan katup, yang dapat menyebabkan abrasi dan kerusakan pada komponen tersebut. Keausan katup ini, pada gilirannya, memengaruhi kinerja mesin (Wiak & Siczek, 2011).

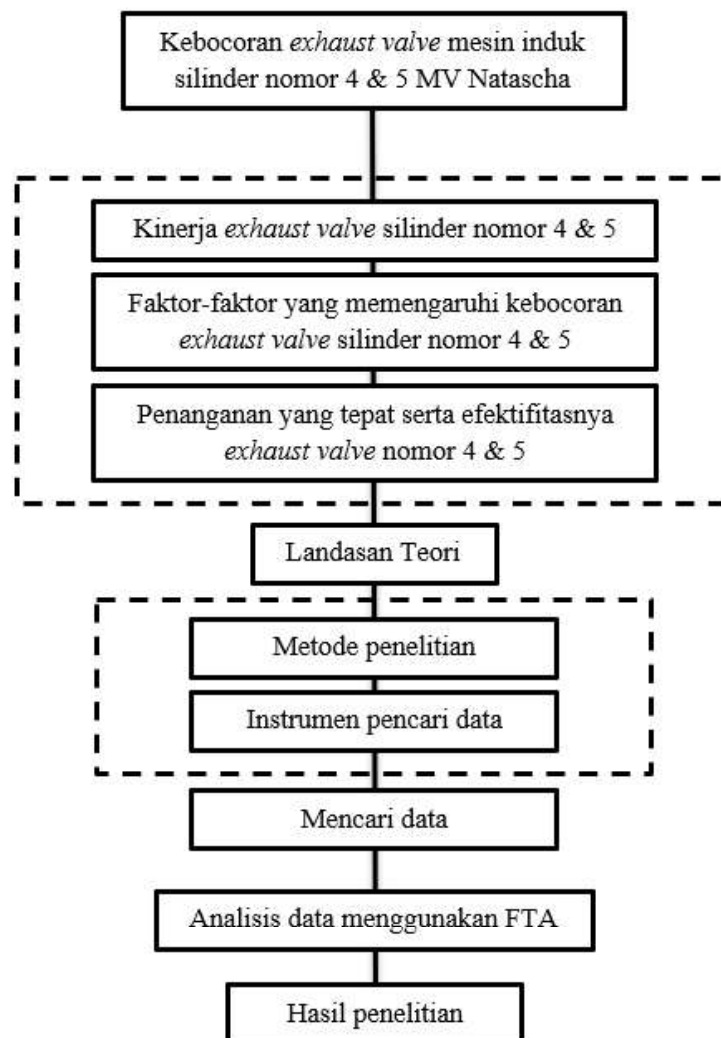


Gambar 2.10 *Carbon Deposits*

Sumber: <https://azuma-engineering.com.sg/index.php/en/procedures/exhaust-valve-spindle>

C. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pemikiran merupakan suatu pola pemikiran untuk menganalisis masalah dibahas sesuai dengan objek penelitian, permasalahan, penyebab, dan tujuan yang ingin dicapai. Dengan ini penulis dapat mengembangkan metode *event tree analysis & fishbone analysis*. Adapun kerangka pemikiran dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Produksi dan pemrosesan data deskriptif, seperti catatan lapangan, foto, video, transkripsi wawancara, dan lainnya, sebagai bagian dari penelitian kualitatif. Fenomenologi dan studi makna dalam penelitian merupakan landasan teori inti dari penelitian kualitatif (Poerwandari, 1982).

Metode penelitian kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi kondisi-kondisi alami suatu fenomena, dengan peneliti sebagai instrumen utama. Teknik pengumpulan data dilakukan secara kombinatif, sementara analisis data difokuskan untuk menggali makna yang mendalam daripada menghasilkan generalisasi (Sugiyono, 2020).

Event Tree Analysis atau ETA merupakan suatu analisis untuk merepresentasikan urutan kejadian yang saling eksklusif dari suatu peristiwa risiko awal sesuai alur berfungsi atau tidak berfungsinya sebuah sistem yang dirancang untuk menangani peristiwa tersebut (Alijoyo et al., 2021).

Fishbone Analysis adalah alat yang umum digunakan untuk membantu organisasi memecahkan masalah dengan melakukan analisis sebab dan akibat dari suatu keadaan dalam sebuah diagram yang terlihat seperti sebuah tulang ikan (Susanto & Kristono, 2011).

Penelitian kualitatif mengutamakan pemahaman mendalam melalui data deskriptif seperti catatan lapangan, foto, dan wawancara. Dengan kombinasi dan analisis sebagai metode pengumpulan dan analisis data. Dalam analisis risiko,

Event Tree Analysis (ETA) menggambarkan urutan kejadian dari peristiwa awal. Sementara *Fishbone Analysis* digunakan untuk mengidentifikasi sebab dan akibat masalah dalam organisasi. Kedua alat ini membantu dalam menemukan akar masalah dan merumuskan solusi yang efektif.

B. Tempat Dan Waktu Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan saat penulis melakukan praktek berlayar selama 1 tahun di PT. GURITA LINTAS SAMUDERA, sebuah perusahaan pelayaran, di salah satu kapal *bulk carrier* bernama MV NATASCHA. Penelitian berlangsung mulai dari tanggal 29 Agustus 2023.

2. Tempat Penelitian

Lokasi dimana penulis melakukan praktek berlayar di atas kapal Bernama MV NATASCHA, yang dimiliki PT. GURITA LINTAS SAMUDERA.

C. Sumber Data

Untuk mengumpulkan informasi menyeluruh sesuai judul penelitian, teknik pengumpulan data berikut digunakan:

1. Data Primer

Lokasi untuk menyimpan data historis berfungsi sebagai sumber utama data primer, yaitu sumber mendasar yang berfungsi sebagai bukti atau sanksi utama atas kejadian sebelumnya. Informasi ini dikumpulkan dari sumber utama menggunakan metode dan prosedur pengumpulan data, yang dapat

mencakup observasi dan dokumentasi sebagai acuan penulis (Sugiyono, 2020). Penulis menyajikan data primer dengan teknik pengumpulan data berupa observasi dan dokumentasi lapangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder berupa data-data yang sudah tersedia dan dapat diperoleh oleh peneliti dengan membaca, melihat atau mendengarkan. Data ini biasanya berasal dari dokumen atau wawancara yang telah dilakukan oleh pihak lain (Sarwono, 2006). Oleh karena itu, data sekunder adalah informasi pendukung atau pelengkap yang berkaitan dengan informasi penelitian yang dapat ditemukan penulis dengan dokumentasi arsip dan wawancara bersama masinis.

D. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data melibatkan pertanyaan langsung kepada awak kapal untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang penelitian ini. Perhatikan dengan saksama pemantauan objek untuk menyaksikan operasi yang dilakukan tanpa menggunakan perantara. Pengamatan sistematis dan dokumentasi kejadian, perilaku, objek yang diamati, dan hal-hal lain yang diperlukan untuk membantu penelitian adalah contoh kegiatan observasi. Rekaman pengambilan gambar langsung dari operasi untuk mengumpulkan data.

1. Observasi

Observasi memungkinkan pengamat untuk melihat dunia sebagaimana subjek penelitian, hidup pada saat itu, dan menangkap kehidupan budaya dari

sudut pandang dan subjek situasi pada saat itu. Observasi memaksimalkan kemampuan peneliti untuk memahami motif, keyakinan, perhatian, perilaku bawah sadar, kebiasaan, dan sebagainya (Moleong & Lexy J., 2017). Observasi penulis lakukan, dari sudut pandang penulis, observasi penulis lakukan dan tuliskan pada buku dan menghasilkan catatan hasil observasi.

2. Dokumentasi

Dokumentasi adalah suatu cara yang digunakan untuk memperoleh data dan informasi dalam bentuk buku, arsip, dokumen, tulisan angka dan gambar yang berupa laporan serta keterangan yang dapat mendukung penelitian (Sugiyono, 2020). Oleh karena itu, penulis membagi dokumen menjadi 2, yaitu dokumentasi lapangan yang termasuk dalam sumber data primer dan juga dokumentasi arsip yang termasuk dalam sumber data sekunder. Dokumentasi lapangan penelitian merupakan dokumentasi yang ditemukan penulis secara langsung, dengan mengumpulkan data berupa foto kegiatan kerja. Dan juga, dokumentasi arsip yang diperoleh penulis secara tidak langsung dengan foto *instruction manual book* yang dibuat oleh *maker*. Karena *maker* adalah sumber yang penulis tidak jumpai secara langsung, dokumentasi arsip tersebut termasuk dalam sumber data sekunder.

3. Wawancara

Wawancara merupakan suatu pendekatan pengumpulan data dimana peneliti ingin melakukan penelitian guna mengetahui permasalahan yang perlu diteliti dan ingin mengetahui sesuatu secara lebih mendalam serta respondennya (Sugiyono, 2020). Dalam penelitian ini narasumber untuk penulis wawancarai adalah KKM, Masinis 2, dan Masinis 3.

E. Teknik Analisis Data

Menurut Sugiyono (2013), analisis data adalah proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi dengan cara mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari, dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri maupun orang lain. Dalam menggunakan teknik analisis, Penulis menggunakan *event tree analysis* untuk menemukan dampak yang layak, karena teknik ini bersifat induktif dan dapat melihat faktor-faktor yang benar-benar disebabkan oleh dampak kinerja pada *exhaust valve*. Penulis juga menambahkan teknik analisis *fishbone* untuk mencari faktor-faktor yang menyebabkan kebocoran terjadi dan mencari penanganan yang tepat untuk menangani kebocoran *exhaust valve*.

Pada setiap analisis, memerlukan identifikasi masalah. identifikasi masalah merupakan tahapan penting dalam proses penelitian yang bertujuan untuk memahami dengan jelas persoalan yang akan diteliti. Proses ini melibatkan analisis situasi, pengumpulan data awal, dan penentuan fokus masalah agar penelitian dapat dilakukan secara terarah dan sistematis (Sugiyono, 2017).

1. *Event Tree Analysis* (ETA)

Penyusunan *Event Tree Analysis* (ETA) dimulai dengan mengidentifikasi peristiwa awal (*initiating event*) yang ditempatkan di sisi kiri diagram. Dari sana, dibuat cabang untuk setiap kemungkinan hasil (*true or false*) dari sistem atau mekanisme. Setiap cabang dikembangkan menjadi jalur yang merepresentasikan kombinasi peristiwa yang mengarah pada

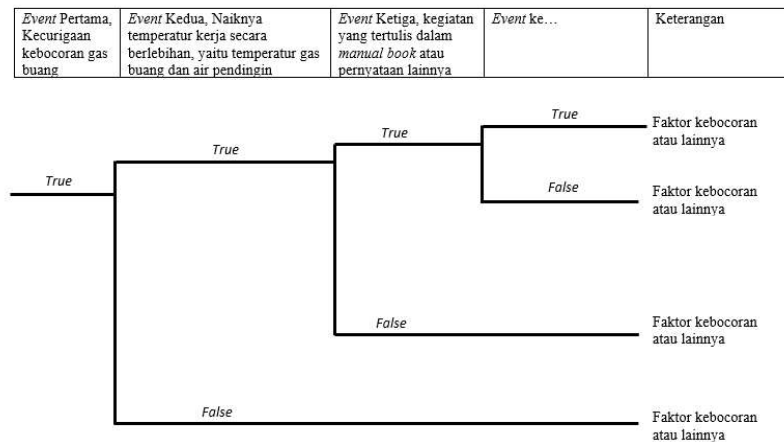
berbagai konsekuensi akhir (Alijoyo et al., 2021). Penulis menambahkan identifikasi masalah untuk mengetahui apa yang menjadi faktor akhir diagram. Penulis juga mengidentifikasi dampak masalah yang dihasilkan dalam *event-event* kejadian.

a. Identifikasi Dampak Dari Masalah

Karena operasional kapal akan terhambat jika salah memperkirakan dampak, identifikasi dampak dari masalah merupakan hal yang penting. Identifikasi dampak digunakan untuk mengidentifikasi komponen lingkungan yang akan terdampak oleh suatu aspek. Prakiraan dampak memperkirakan besaran dan pentingnya dampak terhadap komponen lingkungan (Annisa, 2022). Mengidentifikasi dampak dilakukan secara berurutan dimulai dari mencatat temperatur kerja *exhaust valve* yang terdiri dari temperatur gas buang dan temperatur air pendingin. Dilanjutkan dengan identifikasi lain sesuai dengan *manual book* dari mesin itu sendiri untuk mendapat kesimpulan berupa dampak yang lebih layak.

b. Menemukan Setiap Dampak Masalah

Proses induktif yang dikenal sebagai analisis pohon kejadian (ETA) menampilkan setiap skenario yang dapat muncul dari insiden yang tidak disengaja, sambil memperhitungkan kejadian dan penyebab lainnya (Rausand, 2008). Sesuai urutan identifikasi dampak yang dilakukan penulis melalui *event* atau kegiatan pengecekan terhadap kinerja *exhaust valve* yang merupakan dampak.



Gambar 3.1 Kerangka Diagram *Event Tree Analysis*

c. Analisa Hasil Diagram

Memahami keseriusan dan dampak risiko memerlukan penilaian dampak dari kemungkinan kejadian. Menetapkan prioritas risiko dan memilih strategi terbaik bergantung pada tahap ini (Rausand, 2008). Analisis dilakukan dengan mengevaluasi dampak, penilaian terhadap perubahan kondisi sasaran akibat suatu proyek dan memperbaiki pelaksanaannya. Tujuannya antara lain mengetahui pencapaian tujuan. Untuk mencapai tujuan, Penulis perlu menjabarkan *event* berupa dampak yang terjadi dan perbandingan antara standar ideal dengan kondisi aktual.

2. *Fishbone Analysis*

Teknik analisis data dalam mencari faktor penyebab kebocoran dan penanganan yang tepat adalah dengan menggunakan teknik analisis *fishbone*. Menuliskan masalah utama di kepala ikan dan kemudian menggambar garis lurus untuk tulang punggung adalah langkah awal dalam membuat diagram sebab akibat, yang terkadang dikenal sebagai diagram tulang ikan (Susanto &

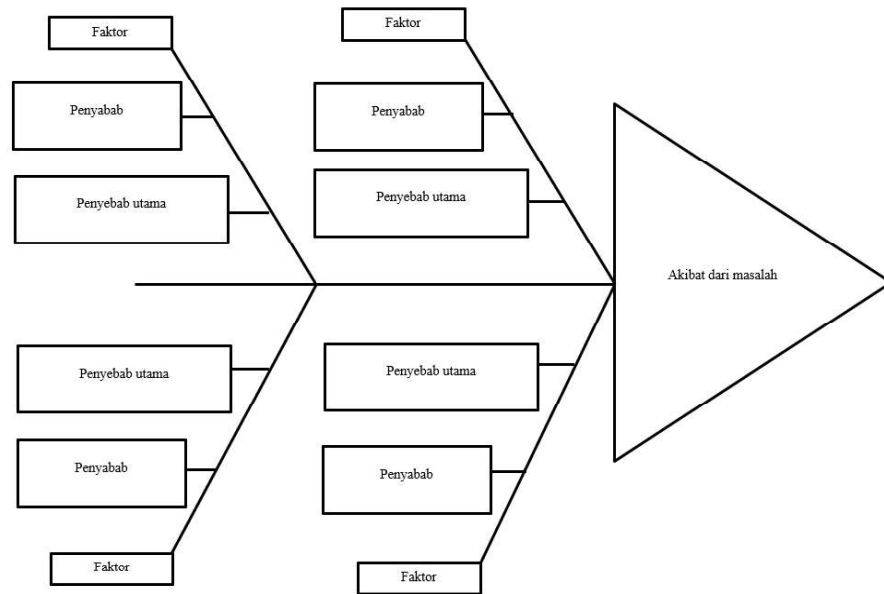
Kristono, 2011). Untuk membuat *fishbone diagram* penulis menambahkan beberapa langkah, seperti:

a. Identifikasi Faktor Dari Masalah

Tujuan identifikasi faktor yaitu menemukan komponen kritis yang berkontribusi terhadap perkembangan suatu masalah, yang memungkinkan aspek terpenting menjadi fokus penelitian tambahan. *Fishbone analysis* mempunyai 4 cabang yang saling berhubungan, cabang tersebut merupakan faktor terjadinya suatu masalah (Siswanto, 2012).

b. Menggambarkan diagram *fishbone analysis*

Mengumpulkan data yang relevan, menentukan faktor-faktor yang berhubungan, dan mengelompokkan penyebab-penyebab yang memengaruhi menggunakan alat analisis seperti diagram sebab-akibat adalah cara untuk menemukan komponen-komponen yang menyebabkan suatu akibat dari suatu masalah (Siswanto, 2012). Dalam hal ini, penulis harus menggambarkan diagram *fishbone analysis* dengan akibat yang disebabkan oleh masalah, 4 faktor yang memengaruhi masalah, penyebab dari setiap faktor, kemudian menemukan penyebab utama diagram *fishbone analysis* yang penulis gambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Kerangka Diagram *Fishbone Analysis*

c. Analisa Hasil Diagram

Saat menganalisis hasil diagram, hubungan antara komponen yang terdeteksi diperiksa, penyebab yang paling dominan dikenali, dan pola yang muncul dievaluasi untuk mengidentifikasi penyebab mendasar masalah. Oleh karena itu, penulis perlu menjabarkan masing-masing penyebab utama dari setiap faktor masalah yang ditemukan dalam diagram (Siswanto, 2012).