

SKRIPSI
ANALISIS TERJADINYA KERETAKAN *CYLINDER HEAD*
PADA MESIN INDUK DI KAPAL KM. JETLINER



SALMAN FAIZ MUTTAQIN
NIT. 21.42.021
TEKNIKA

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025

**ANALISIS TERJADINYA KERETAKAN *CYLINDER HEAD*
PADA MESIN INDUK DI KAPAL KM. JETLINER**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan
Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan oleh

SALMAN FAIZ MUTTAQIN
NIT. 21.42.021

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

SKRIPSI

ANALISIS TERJADINYA KERETAKAN CYLINDER HEAD PADA MESIN INDUK DI KAPAL KM. JETLINER

SALMAN FAIZ MUTTAQIN

NIT. 21.42.021

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi
Pada tanggal 12 September 2025

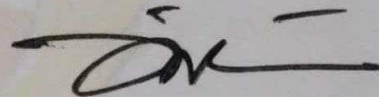
Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Sarifuddin, M.Pd., M.Mar.E.
NIP. 19671209 199903 1 001

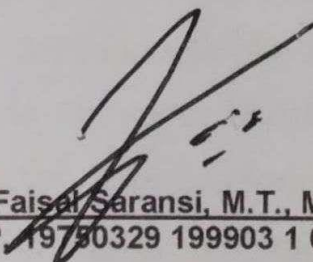


Tasdik Tona, S.T., M.M.
NIP. 19781221 200912 1 003

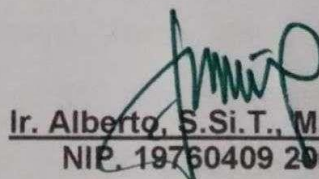
Mengetahui:

a.n Direktur
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Pembantu Direktur I

Ketua Program Studi Teknika



Capt. Faisal Saransi, M.T., M. Mar.
NIP. 19750329 199903 1 002



Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P
NIP. 19760409 200604 1 001

PRAKATA

Segala puji syukur ke hadirat ALLAH SWT, karena atas Rahmat, kenikmatan dan Hidayah-nya sehingga penulis diberi kemudahan dan kelancaran untuk menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisis Terjadinya Keretakan *Cylinder Head* pada Mesin Induk di Kapal KM. Jetliner”.

Penyusunan skripsi ini dalam rangka untuk memenuhi persyaratan meraih gelar Sarjana Terapan Pelayaran (S.Tr.Pel), serta syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma IV Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi bahasa, susunan kalimat maupun cara penulisannya serta pembahasan materinya, mengingat keterbatasan ilmu pengetahuan yang penulis miliki. Penulis juga senantiasa terbuka menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dengan penuh rasa hormat dan ketulusan hati kepada:

1. Bapak Capt. Rudy Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P selaku Ketua Program Studi Teknik Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
3. Bapak Dr. Sarifuddin, M.Pd., M.Mar.E. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Tasdik Tona, S.T., M.M. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu meluangkan waktu dan selalu memberikan dukungan, nasihat, serta motivasi sehingga skripsi ini terselesaikan.
4. Ayahanda Haryono, Ibunda Sri Rahayu, serta keluarga tercinta yang selalu tulus memberikan do'a, nasihat, dan dukungan baik moral maupun material, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

5. Friza Eiffelantis yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan semangat bagi penulis. Kehadirannya memberi warna tersendiri dalam perjalanan penyusunan skripsi ini hingga terselesaikan dengan baik.
6. Nahkoda beserta seluruh ABK dari KM. Jetliner khususnya kru mesin yang telah memberi pengalaman, ilmu dan kesempatan untuk belajar.
7. Seluruh Dosen dan Staff Pembina Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah membantu serta mengayomi saya selama menimba ilmu di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
8. Seluruh Taruna/I yang telah memotivasi dan membantu saya dalam proses penyusunan skripsi, terkhusus Angkatan XLII.
9. Semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, namun telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala ketulusan hati penulis memohon maaf bila terdapat kalimat yang kurang berkenan di hati pembaca, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, menambah pengetahuan serta menjadi referensi bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Makassar, 12 September 2025



Salman Faiz Muttaqin
NIT. 21.42.021

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Salman Faiz Muttaqin
NIT : 21.42.021
Program Studi : Teknika

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

Analisis Terjadinya Keretakan *Cylinder Head* pada Mesin Induk di Kapal KM. Jetliner

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam skripsi ini, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 12 September 2025



Salman Faiz Muttaqin

NIT. 21.42.021

ABSTRAK

SALMAN FAIZ MUTTAQIN, 2025. Analisis Terjadinya Keretakan *Cylinder Head* pada Mesin Induk di Kapal KM. Jetliner (dibimbing oleh Sarifuddin dan Tasdik Tona)

Cylinder Head merupakan salah satu komponen penting pada mesin induk yang berfungsi sebagai ruang pembakaran sekaligus tempat pengaturan aliran udara dan gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab, dampak, serta solusi terhadap keretakan yang terjadi pada *cylinder head* mesin induk kapal.

Penelitian ini dilaksanakan di kapal KM. JETLINER milik perusahaan PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan tiga metode utama, yaitu observasi langsung di lapangan, wawancara semi-terstruktur dengan perwira mesin, serta dokumentasi visual terkait kejadian keretakan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keretakan *cylinder head* terjadi akibat kombinasi dua faktor utama, yaitu sistem pendingin yang tidak optimal akibat tersumbatnya *cooler plate*, serta akumulasi beban termal dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Dampak yang ditimbulkan mencakup infiltrasi air ke ruang bakar, korosi injektor, dan potensi terjadinya *water hammer*. Solusi yang diterapkan adalah penggantian *cylinder head*, pembersihan *cooler plate*, serta memperketat pengawasan visual pada *cylinder head* dan monitoring suhu mesin.

Kata kunci: *cylinder head*, keretakan, sistem pendingin, suhu gas buang, beban termal.

ABSTRACT

SALMAN FAIZ MUTTAQIN, 2025. An Analysis of Cylinder Head Cracking on the Main Engine of MV Jetliner (supervised by Sarifuddin and Tasdik Tona)

The cylinder head is a critical component of the main engine, serving as the combustion chamber and regulating the intake and exhaust gas flow. This study aims to analyze the causes, impacts, and solutions related to cracking in the cylinder head of a ship's main engine.

The research was conducted on the MV Jetliner, operated by PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA. A descriptive qualitative approach was employed, utilizing three primary methods: direct field observation, semi-structured interviews with engine officers, and visual documentation of the cylinder head cracking incident.

The results reveal that the cylinder head cracking was caused by a combination of two main factors: an inefficient cooling system due to clogged cooler plates and excessive thermal load from incomplete combustion. The impacts included coolant infiltration into the combustion chamber, injector corrosion, and the potential for water hammer. The implemented solutions involved replacing the damaged cylinder head, cleaning the cooler plates, and strengthening visual inspections and temperature monitoring of the engine.

Keywords: cylinder head, cracking, cooling system, exhaust gas temperature, thermal load.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Pengertian Cylinder Head.....	5
B. Fungsi Cylinder Head	7
C. Jenis-Jenis Cylinder Head	8
D. Desain dan Analisis Cylinder Head.....	10
E. Faktor-Faktor Penyebab Keretakan Cylinder Head.....	13
F. Teknologi Pengukuran Suhu pada Mesin Induk Kapal.....	15
G. Pengaruh Sistem Pendinginan yang Tidak Optimal	19
H. Pengaruh Akumulasi Beban Termal Berlebih	20
I. Permasalahan yang Relevan.....	21
J. Kerangka Pikir	24
K. Hipotesis	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
A. Jenis Penelitian	28

B. Definisi Operasional Variabel.....	29
C. Teknik Pengumpulan Data	29
D. Teknik Analisis Data	30
E. Jadwal Penelitian.....	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	35
A. Hasil Penelitian.....	35
B. Pembahasan Hasil Penelitian	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
A. Kesimpulan.....	60
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu	22
Tabel 2.2	Kerangka pikir	26
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian	33
Tabel 4.1	Daftar Pelabuhan Singgah	36
Tabel 4.2	Suhu Gas Buang dalam Kondisi Normal (Sebelum Keretakan).....	46
Tabel 4.3	Suhu Gas Buang dalam Kondisi Abnormal (Saat Terindikasi Keretakan)	47
Tabel 4.4	Suhu <i>Coolant</i> (Air Pendingin).....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konstruksi <i>Cylinder Head</i>	6
Gambar 2.2 Flat <i>Cylinder Head</i>	8
Gambar 2.3 Hemi <i>Cylinder Head</i>	9
Gambar 2.4 Desain <i>Cylinder Head</i>	10
Gambar 2.5 Sensor <i>Thermocouple</i>	16
Gambar 2.6 Sensor RTD PT100.....	17
Gambar 4.1 KM. Jetliner	36
Gambar 4.2 Mesin Induk KM. Jetliner	38
Gambar 4.3 Letak Keretakan pada <i>Cylinder Head</i> Motor Induk.....	44
Gambar 4.4 Pemeriksaan <i>Cylinder Head</i> oleh Kru dan Masinis	45
Gambar 4.5 <i>Cooler Plate</i> Mesin Induk – Kondisi Tersumbat	45
Gambar 4.6 Diagram Block Sistem Pendinginan Mesin Induk KM. Jetliner	51
Gambar 4.7 Pengecekan Suhu Gas Buang melalui Monitor Mesin Induk	52
Gambar 4.8 Infiltrasi Air ke Ruang Pembakaran Silinder A6.....	54
Gambar 4.9 Korosi pada Injektor Akibat Infiltrasi Air ke Ruang Pembakaran.....	55
Gambar 4.10 Kru Mesin Melakukan Pergantian pada <i>Cylinder Head</i> yang Retak.....	56
Gambar 4.11 Pembersihan pada <i>Cooler Plate</i>	57
Gambar 4.12 Monitoring Suhu Gas Buang Setelah Perbaikan	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Surat Izin Penelitian	64
Lampiran 2. Surat Keterangan Sudah Meneliti	65
Lampiran 3. Instrumen Penelitian	66
Lampiran 4. Dokumentasi Kegiatan	74

DAFTAR SINGKATAN

ABK	: Anak Buah Kapal
BKI	: Biro Klasifikasi Indonesia
BUMN	: Badan Usaha Milik Negara
DS18B20	: Digital Sensor 18B20
DWT	: Deadweight Tonnage
ESP32	: Espressif Systems Protocol 32-bit
GT	: Gross Tonnage
IMO NUMBER	: International Maritime Organization Number
KET.	: Keterangan
KKM	: Kepala Kamar Mesin
KM	: Kapal Motor
KNKT	: Komite Nasional Keselamatan Transportasi
LBP	: Length Between Perpendiculars
LOA	: Length Overall
MMSI NUMBER	: Maritime Mobile Service Identity Number
MTU	: Motoren und-Turbinen Union
MV	: Marine Vessel
NT	: Net Tonnage
PRALA	: Praktik Laut
PT100	: Platinum Resistance Thermometer 100 Ohm
RPM	: Revolutions Per Minute
RTD	: Resistance Temperature Detectors

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi laut yang memegang peranan penting dalam kegiatan perdagangan, pariwisata, dan distribusi logistik dan juga merupakan salah satu moda transportasi yang memiliki peranan penting dalam menunjang kegiatan ekonomi, khususnya dalam bidang pengangkutan barang dan penumpang antar wilayah. Dalam operasionalnya, mesin induk kapal menjadi salah satu komponen vital yang berfungsi sebagai penggerak utama. Oleh karena itu, keandalan dan kondisi mesin induk sangat mempengaruhi keselamatan pelayaran dan efisiensi operasional kapal.

Salah satu komponen penting dalam mesin induk adalah *cylinder head*, yang berfungsi sebagai ruang pembakaran sekaligus tempat pengaturan aliran udara dan gas buang. *Cylinder head* harus mampu menahan tekanan dan suhu tinggi selama proses pembakaran. Apabila terjadi kerusakan pada bagian ini, seperti keretakan, maka dapat berdampak serius terhadap performa mesin, termasuk terjadinya kebocoran oli, kehilangan tekanan kompresi, dan penurunan efisiensi kerja mesin secara keseluruhan.

Keretakan pada *cylinder head* dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti suhu operasi yang melebihi batas normal, tekanan pembakaran yang ekstrem, kualitas bahan bakar yang buruk, ataupun prosedur perawatan yang tidak tepat. Untuk memahami penyebab pastinya, diperlukan analisis mendalam berdasarkan kondisi operasional dan data teknis di lapangan.

Selama pelaksanaan praktik laut di atas kapal KM. Jetliner, penulis menyaksikan langsung sebuah kejadian teknis yang berkaitan dengan keretakan pada *cylinder head* mesin induk. Kejadian ini berlangsung

pada hari Minggu, 21 Juli 2024, saat kapal sedang sandar di Pelabuhan Bungkutoko, Kendari, dan mesin induk dalam kondisi tidak aktif. Setelah kegiatan perawatan rutin mesin induk selesai dilakukan, rencananya akan dilanjutkan dengan *running test* atau uji coba pengoperasian mesin sebagai bagian dari prosedur standar. Sebelum menyalakan mesin, dilakukan terlebih dahulu prosedur *blow-up* untuk memastikan tidak terdapat material asing di dalam ruang pembakaran. Pada saat indikator valve berada dalam posisi terbuka, terdeteksi adanya semburan air dari ruang pembakaran dengan tekanan yang cukup kuat. Temuan ini menjadi indikasi awal adanya kerusakan internal. Setelah dilakukan pemeriksaan lebih lanjut oleh Masinis 1 dan kru mesin, diketahui bahwa telah terjadi keretakan pada bagian *cylinder head* mesin induk. Kejadian ini menjadi dasar utama penulis dalam mengangkat topik penelitian guna menganalisis penyebab keretakan dan upaya pencegahannya.

Dalam skala nasional, kasus kerusakan mesin kapal, khususnya pada komponen *cylinder head*, bukanlah hal yang jarang terjadi. Berdasarkan laporan dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dan hasil monitoring Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, sejumlah kecelakaan dan keterlambatan pelayaran disebabkan oleh gangguan teknis pada mesin induk, yang sebagian besar berkaitan dengan sistem pendinginan, pelumasan, serta keausan dan retakan pada komponen mesin utama. Hal ini menunjukkan bahwa kasus keretakan *cylinder head* seperti yang terjadi pada KM. *Jetliner* merupakan permasalahan nyata yang relevan untuk dikaji lebih lanjut guna meningkatkan standar keselamatan dan efisiensi operasional kapal-kapal niaga di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab, dampak, serta solusi terhadap keretakan pada *cylinder head* mesin induk kapal. Dengan memahami faktor-faktor yang memicu terjadinya keretakan, diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis guna mencegah kejadian serupa di masa mendatang.

Dalam beberapa tahun terakhir, kasus keretakan pada *cylinder head* mesin induk kerap terjadi pada kapal-kapal niaga di Indonesia. Hal ini tidak hanya menimbulkan kerugian dalam aspek biaya perbaikan, tetapi juga mengancam keselamatan pelayaran dan menimbulkan gangguan dalam jadwal operasional kapal.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman teknis terhadap keretakan *cylinder head* serta memberikan dasar ilmiah bagi tindakan preventif dan perbaikan di lapangan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. Jetliner?
2. Apa saja dampak yang ditimbulkan akibat keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. Jetliner?
3. Bagaimana upaya solusi atau pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengatasi keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. Jetliner?

C. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan keterarahannya, penelitian ini dibatasi hanya pada pembahasan mengenai faktor penyebab, dampak, serta solusi pencegahan terhadap keretakan yang terjadi pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. Jetliner. Penelitian tidak mencakup komponen mesin lainnya ataupun jenis kerusakan yang tidak berhubungan langsung dengan *cylinder head*.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan yang ingin dicapai dari penelitian yang penulis lakukan adalah:

1. Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. *Jetliner*.
2. Untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan akibat keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal.
3. Untuk mengidentifikasi solusi atau upaya pencegahan yang dapat dilakukan guna menghindari keretakan *cylinder head* di masa mendatang.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat pembahasan masalah yang dapat diambil dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan literatur teknis di bidang teknik permesinan kapal, khususnya terkait dengan analisis kerusakan *cylinder head*.

2. Manfaat Praktis

- a. Menjadi referensi bagi teknisi dan operator kapal dalam memahami faktor penyebab keretakan *cylinder head* serta upaya penanggulangannya.
- b. Memberikan pengetahuan kepada pembaca dan pihak terkait tentang tindakan preventif dan korektif terhadap kerusakan *cylinder head* berdasarkan kasus nyata di kapal KM. *Jetliner*.
- c. Bagi lembaga pendidikan pelayaran, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan studi kasus dalam pembelajaran teknik permesinan kapal, khususnya mengenai pemeliharaan mesin induk dan penanganan kerusakan komponen kritis seperti *cylinder head*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian *Cylinder Head*

Cylinder head atau kepala silinder adalah komponen penting dalam mesin pembakaran internal yang berfungsi menutup bagian atas silinder dan membentuk ruang bakar bersama dengan piston dan blok silinder. Komponen ini tidak hanya berperan sebagai penutup, tetapi juga sebagai tempat kedudukan bagi berbagai elemen penting seperti katup masuk (*intake valves*), katup buang (*exhaust valves*), injektor bahan bakar, dan busi pada mesin bensin. Selain itu, *cylinder head* dilengkapi dengan saluran pendingin dan pelumasan untuk menjaga suhu operasi yang optimal dan mengurangi gesekan antar komponen bergerak.

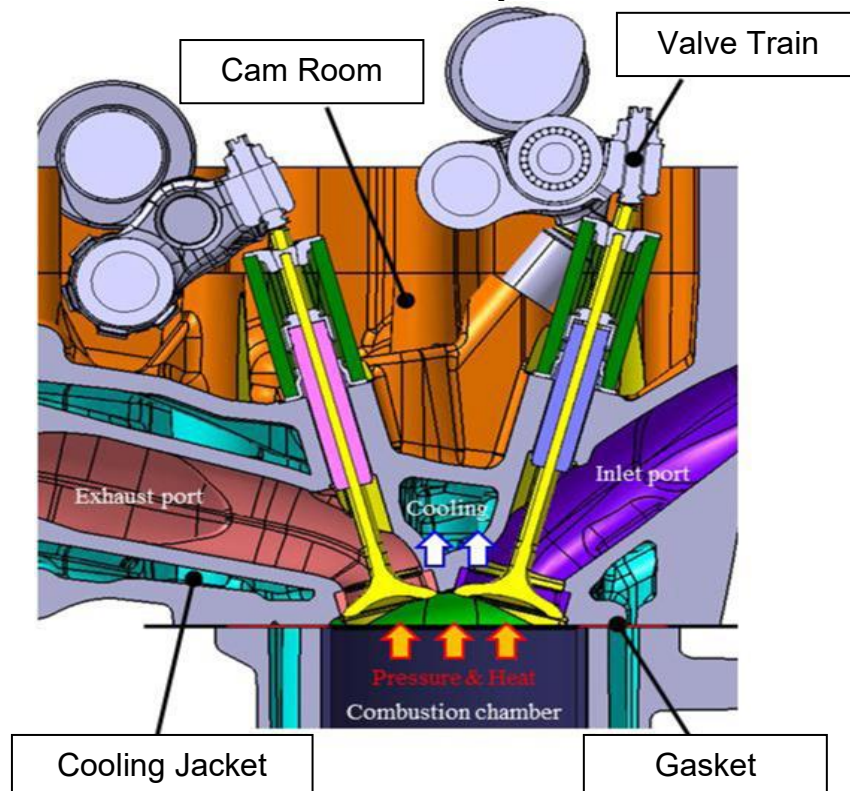
Cylinder head didesain untuk menampung berbagai fitur teknis yang kompleks, termasuk port udara yang dioptimalkan untuk aliran gas, sistem pendingin untuk pelepasan panas, serta tata letak injektor dan katup yang disesuaikan dengan kebutuhan pembakaran. Pada mesin diesel dengan sistem injeksi langsung, komponen ini harus mampu menahan tekanan dan suhu kerja yang tinggi, sehingga pemilihan material dan desain geometris menjadi faktor penentu utama dalam menjamin kekuatan dan efisiensinya. Aiello, dkk. (2020).

Analisis lain menyatakan bahwa *cylinder head* harus dirancang agar mampu menahan beban termomekanik yang berulang, yang berasal dari fluktuasi suhu tinggi dan tekanan dalam ruang bakar. Dalam aplikasinya, *cylinder head* menjadi pusat dari berbagai sistem seperti galeri pendingin, saluran gas buang, kedudukan katup, hingga permukaan pembakaran, sehingga desainnya harus mempertimbangkan aspek konduksi panas, distribusi tegangan, serta umur kelelahan material. Oleh karena itu, *cylinder head* tidak hanya dinilai dari sisi bentuk geometri dan material, tetapi juga dari

kemampuannya dalam merespons beban kerja yang kompleks dan mempertahankan integritas struktural selama siklus operasional jangka panjang.

Bentuk dan desain *cylinder head* sangat memengaruhi aliran udara ke dalam ruang bakar, yang berdampak pada efisiensi pembakaran dan performa mesin secara keseluruhan. Perubahan kecil seperti posisi injektor atau ukuran katup dapat membuat pola aliran udara berbeda, sehingga desain *cylinder head* harus dirancang secara presisi agar mesin bekerja optimal.

Gambar 2. 1 Konstruksi *Cylinder Head*



Sumber: Mikami dan Chakmakov. New Theoretical Approach for Weight Reduction on Cylinder Head

Melalui pendekatan teoritis dan contoh empiris ini, dapat disimpulkan bahwa *cylinder head* bukan hanya berperan sebagai penutup ruang bakar, tetapi juga sebagai sistem integral dalam mendukung efisiensi, daya tahan, dan performa mesin secara menyeluruh.

B. Fungsi *Cylinder Head*

Cylinder head atau kepala silinder memiliki peran krusial dalam kinerja mesin pembakaran dalam. Fungsi utamanya meliputi:

1. Menutup Ruang Silinder dan Membentuk Ruang Bakar

Cylinder head berfungsi menutup bagian atas silinder, membentuk ruang bakar bersama piston dan blok silinder. Hal ini memungkinkan terjadinya proses pembakaran yang efisien.

2. Mendukung Komponen Penting

Komponen seperti katup masuk (*intake valves*), katup buang (*exhaust valves*), busi pada mesin bensin, atau injektor bahan bakar pada mesin diesel terpasang pada *cylinder head*. Penempatan yang tepat dari komponen-komponen ini sangat penting untuk memastikan efisiensi aliran udara dan bahan bakar.

3. Saluran Pendingin dan Pelumasan

Cylinder head dilengkapi dengan saluran untuk cairan pendingin dan oli pelumas. Saluran pendingin membantu mengatur suhu kerja mesin dengan mengalirkan cairan pendingin di sekitar area pembakaran yang panas, sementara saluran pelumasan memastikan komponen bergerak seperti katup dan *rocker arm* mendapatkan pelumasan yang cukup untuk mengurangi gesekan dan keausan.

4. Mengatur Aliran Udara dan Gas Buang

Desain internal *cylinder head* mempengaruhi efisiensi aliran udara masuk dan gas buang keluar. Saluran yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan efisiensi volumetrik mesin, yang berdampak pada peningkatan tenaga dan efisiensi bahan bakar.

Dengan demikian, *cylinder head* tidak hanya berfungsi sebagai penutup silinder, tetapi juga memainkan peran penting dalam mengatur proses masuk dan keluarnya campuran udara-bahan bakar serta gas buang, mendukung komponen vital, dan memastikan efisiensi termal mesin.

C. Jenis-Jenis *Cylinder Head*

Desain *cylinder head* memiliki peran krusial dalam menentukan efisiensi pembakaran dan performa mesin. Dua desain yang umum digunakan adalah *flat cylinder head* dan *hemispherical cylinder head* (*hemi*).

1. *Flat Cylinder Head*

Desain ini memiliki permukaan ruang bakar yang datar, sering kali digunakan pada mesin dengan konfigurasi sederhana. Keuntungan utama dari desain ini adalah kemudahan produksi dan biaya yang lebih rendah. Namun, desain datar ini memiliki keterbatasan dalam aliran udara dan efisiensi pembakaran.

Gambar 2. 2 *Flat Cylinder Head*



Sumber: Hadi, Analisis Penyebab Terjadinya Keretakan *Cylinder Head* pada Mesin Induk Di Kapal Mv. Cemtrans

2. *Hemispherical Cylinder Head (Hemi)*

Desain ini memiliki ruang bakar berbentuk setengah bola, yang memungkinkan aliran udara dan bahan bakar yang lebih baik, serta pembakaran yang lebih efisien. Dengan posisi katup masuk dan keluar yang berlawanan, desain hemi mengoptimalkan aliran udara dan bahan bakar ke dalam mesin serta gas buang keluar, menghasilkan peningkatan performa dan tenaga.

Gambar 2. 3 Hemi *Cylinder Head*

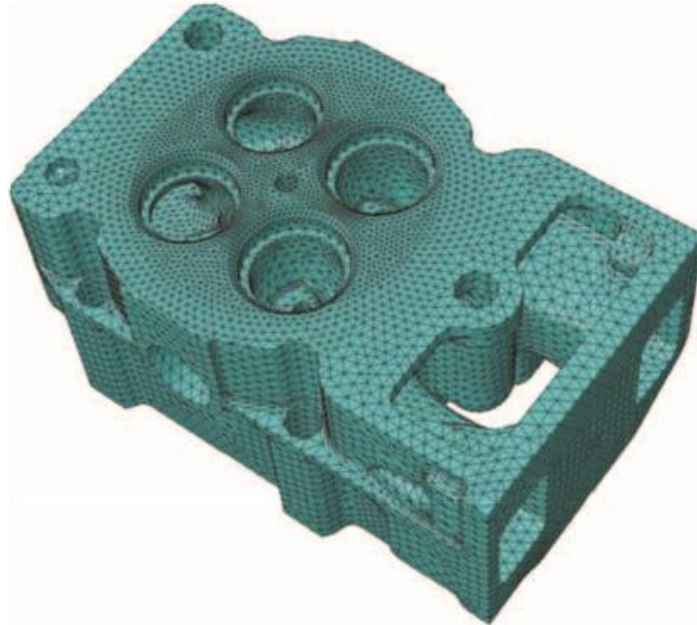


Sumber: Sitanggang, Silvester dan Fahik. Analisis dan Penanganan Ketidakpresisian Cylinder Head

D. Desain dan Analisis *Cylinder Head*

1. Desain *Cylinder Head*

Gambar 2. 4 Desain *Cylinder Head*



Sumber: Guo, Zhang and Wang. Failure Analysis of a Modern High Performance Diesel Engine Cylinder Head

Cylinder head merupakan salah satu bagian utama dalam ruang pembakaran yang memiliki massa cukup besar. Pada mesin diesel berperforma tinggi, desain struktur *cylinder head* dibuat cukup kompleks agar mampu memenuhi tuntutan kinerja serta kekuatan mekanis. Komponen-komponen penting seperti katup, busi, dan manifold buang terpasang di bagian ini, ditambah dengan keberadaan saluran air pendingin, saluran masuk udara, serta gas buang yang semakin menambah kompleksitas desainnya.

Material utama yang digunakan untuk *cylinder head* adalah besi tuang, karena kemampuannya dalam menahan tekanan dan suhu tinggi. Kandungan karbon dalam bahan ini berkisar antara 0,3% hingga 0,7%, dan baja tersebut dapat ditingkatkan kekuatannya melalui perlakuan panas. Salah satu teknik seperti hot stamping diterapkan untuk memperkuat logam dengan memanaskannya hingga suhu tertentu lalu mendinginkannya secara terkendali. Pada proses

pengecoran, baja dilebur hingga sekitar 1500°C kemudian dituangkan ke dalam cetakan dengan bantuan tekanan.

Material *cylinder head* saat ini juga mengandung unsur seperti silikon, magnesium, dan tembaga. Kombinasi unsur tersebut dipilih karena memiliki kekuatan tinggi terhadap panas, rasio berat yang rendah, konduktivitas termal yang baik, serta karakteristik pengecoran yang mendukung proses manufaktur dan kinerja mesin secara keseluruhan.

2. Analisis *Cylinder Head*

Cylinder head atau kepala silinder adalah komponen penting dalam mesin pembakaran dalam yang mempengaruhi kinerja, efisiensi, dan emisi mesin. Proses desain dan analisis *cylinder head* melibatkan berbagai pertimbangan, termasuk pemilihan material, struktur internal, dan kemampuan menahan beban termal serta mekanis.

a. Pemilihan Material

Pemilihan material yang tepat sangat penting untuk memastikan *cylinder head* dapat menahan suhu dan tekanan tinggi selama operasi mesin. Aluminium sering digunakan karena ringan dan memiliki konduktivitas termal yang baik. Namun, desain harus mempertimbangkan kekuatan material untuk mencegah deformasi atau kegagalan struktural. Analisis menggunakan metode elemen hingga pada *cylinder head* yang terbuat dari baja struktural dan aluminium. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun aluminium lebih ringan, desain harus memastikan bahwa tegangan yang terjadi tidak melebihi kekuatan material.

b. Optimasi Desain

Proses optimasi dalam desain *cylinder head* bertujuan untuk mengurangi bobot tanpa mengorbankan kekuatan dan daya tahan. Menggunakan pendekatan optimasi non-parametrik yang

menggabungkan optimasi topologi dan bentuk. Pendekatan ini berhasil mengurangi bobot *cylinder head* hingga 14% dibandingkan desain konvensional, sambil tetap memenuhi persyaratan kekuatan lelah siklus tinggi.

c. Analisis Aliran Udara

Desain geometri *cylinder head* mempengaruhi aliran udara masuk dan keluar dari ruang bakar, yang berdampak pada efisiensi volumetrik dan performa mesin. Menggunakan *Magnetic Resonance Velocimetry* (MRV) untuk mengukur variasi aliran udara akibat perubahan geometri *cylinder head*. Studi ini menunjukkan bahwa modifikasi kecil pada geometri dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam pola aliran udara, yang mempengaruhi efisiensi pembakaran.

d. Simulasi dan Validasi

Penggunaan simulasi komputer memungkinkan perancang untuk memprediksi perilaku *cylinder head* di bawah berbagai kondisi operasi. Mengembangkan proses desain berbasis simulasi yang mencakup sepuluh simulasi interdependen pada port, jaket pendingin, ruang bakar, dan *cylinder head*. Pendekatan ini memungkinkan perancangan *cylinder head* yang lebih efisien dengan mengidentifikasi potensi masalah sejak tahap awal desain.

Meskipun aspek desain dan analisis *cylinder head* telah dikembangkan dengan teknologi mutakhir, kinerja komponen ini dalam praktik tetap sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional mesin. Salah satu faktor penting adalah media pendingin yang bersirkulasi di sekitar *cylinder head* untuk menjaga suhu kerja.

E. Faktor-Faktor Penyebab Keretakan *Cylinder Head*

Meskipun desain dan material *cylinder head* telah dikembangkan secara optimal, komponen ini tetap tidak terlepas dari potensi kerusakan akibat kondisi operasional di lapangan. Keretakan pada *cylinder head* merupakan bentuk kerusakan yang sering dijumpai dan dapat disebabkan oleh berbagai faktor teknis maupun lingkungan. Pemahaman terhadap penyebab keretakan sangat penting dalam rangka perawatan preventif dan peningkatan keandalan mesin diesel.

1. Kualitas Air Pendingin yang Buruk

Kualitas air pendingin yang buruk dapat memicu kerusakan serius pada *cylinder head* karena mengganggu sistem pendinginan mesin yang sangat krusial dalam menjaga suhu operasi tetap stabil. Walaupun dalam studi oleh Wicaksono, (2021) tidak ditemukan kerusakan langsung pada sistem pendinginan, namun retakan tetap terjadi akibat faktor lain yang saling berhubungan, seperti porositas akibat tegangan termal berulang. Ketidaksempurnaan seperti ini memperbesar konsentrasi tegangan di area tertentu, yang dalam kondisi temperatur tinggi akibat pendinginan tidak optimal dapat mempercepat inisiasi dan propagasi (pertumbuhan) retakan. Terlebih lagi, jika kualitas air pendingin rendah dan tidak memiliki aditif inhibitor korosi yang memadai, maka risiko korosi dan akumulasi panas lokal akan meningkat, memperburuk keausan material dan menurunkan umur keandalan *cylinder head*. Dengan demikian, kualitas air pendingin yang buruk tetap menjadi faktor signifikan, terutama ketika dikombinasikan dengan cacat manufaktur atau kondisi kerja ekstrem.

2. Sistem Pendinginan yang Tidak Optimal

Sistem pendinginan yang tidak optimal dapat menyebabkan distribusi panas yang tidak merata pada *cylinder head*. Ketika aliran air pendingin terganggu akibat sumbatan, kerusakan pompa, atau desain saluran yang kurang efisien, panas tidak dapat diserap dan didistribusikan dengan baik. Akibatnya, terbentuk area panas lokal

(*hot spot*) yang mengalami suhu lebih tinggi dibandingkan bagian lain. Perbedaan suhu ini menimbulkan tegangan termal yang signifikan, yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan deformasi atau retakan pada material *cylinder head*. Penelitian oleh Hermawati, dkk. (2021) menunjukkan bahwa beban termal dan mekanis yang tidak merata dapat menyebabkan deformasi dan keretakan pada *cylinder head* mesin diesel.

3. Beban Termal yang Tinggi

Salah satu penyebab utama keretakan pada *cylinder head* adalah beban termal yang tinggi selama mesin beroperasi. Perubahan suhu yang drastis, terutama saat proses pemanasan dan pendinginan mesin, dapat menimbulkan tegangan termal yang menyebabkan retakan, khususnya di bagian jembatan katup dan area sekitar lubang injektor. Retakan ini umumnya muncul akibat konsentrasi tegangan yang terjadi karena bentuk geometris komponen dan adanya cacat seperti porositas dari proses pengecoran. Berdasarkan simulasi elemen hingga, area yang memiliki konsentrasi tegangan tinggi terbukti sesuai dengan lokasi retakan yang ditemukan di lapangan. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan desain termal yang baik dan kontrol mutu pengecoran untuk mencegah kerusakan akibat beban panas yang berlebihan. Permata, (2022).

4. Korosi pada Permukaan *Cylinder Head*

Salah satu penyebab utama keretakan pada permukaan *cylinder head* adalah korosi akibat masuknya gas bersuhu tinggi ke dalam retakan kecil. Meskipun titik panas tertinggi dan tegangan termal-mekanis tidak selalu berada di lokasi awal retakan, kerusakan tetap bisa terjadi karena adanya cacat mikro di bagian dalam saluran buang. Proses pengecoran yang berlangsung dengan pendinginan cepat menyebabkan terbentuknya struktur grafit yang lemah, sehingga area tersebut menjadi titik rawan retak. Ketika retakan mulai muncul, gas

buang panas bisa masuk ke celah tersebut dan memicu korosi serta oksidasi. Proses ini mempercepat pertumbuhan retakan karena logam di sekitar celah menjadi semakin lemah. Artinya, korosi yang dipicu oleh paparan gas panas berperan besar dalam mempercepat kerusakan pada *cylinder head*.

5. Kelelahan Material (*Material Fatigue*)

Kelelahan material terjadi akibat beban yang terus-menerus bekerja secara berulang, seperti tekanan dari pembakaran dan getaran mesin. Bila material *cylinder head* tidak cukup kuat terhadap beban siklik (berulang), atau memiliki cacat struktur di dalam (*microstructural defect*), maka akan terbentuk retakan kecil yang lama-kelamaan membesar.

6. Proses Pembakaran yang Tidak Sempurna

Pembakaran yang tidak ideal, seperti *knocking* (ledakan dini bahan bakar), *over-fueling* (bahan bakar terlalu banyak), atau kebocoran pada injektor, dapat menyebabkan kenaikan tekanan dan suhu yang tiba-tiba di ruang bakar. Tekanan berlebih ini menimbulkan *shock load* (beban kejutan) pada bagian atas silinder, sehingga memperbesar risiko retakan lokal pada *cylinder head*.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa penyebab keretakan *cylinder head* tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan kombinasi dari faktor desain, material, dan kondisi operasional. Salah satu faktor yang paling berperan dalam kasus kerusakan di KM. Jetliner adalah sistem air pendingin dan beban termal, yang akan dibahas lebih lanjut dalam subbab berikutnya.

F. Teknologi Pengukuran Suhu pada Mesin Induk Kapal

Pengukuran suhu pada mesin induk kapal merupakan aspek krusial dalam menjaga kinerja optimal dan mencegah kerusakan akibat panas berlebih. Sistem pengukuran suhu yang akurat memungkinkan

deteksi dini terhadap potensi masalah, seperti keretakan pada komponen mesin, termasuk *cylinder head*.

1. Pentingnya Monitoring Suhu Mesin

Suhu yang tidak terkontrol pada mesin induk dapat menyebabkan deformasi termal, kelelahan material, hingga keretakan struktural. Oleh karena itu, pemantauan suhu secara real-time menjadi vital untuk memastikan operasi mesin yang aman dan efisien. Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu pada berbagai titik kritis, seperti ruang bakar, sistem pendingin, dan area sekitar *cylinder head*.

2. Jenis Sensor Suhu yang Digunakan di Kapal

Beberapa jenis sensor suhu yang umum digunakan dalam aplikasi maritim meliputi:

- a) *Thermocouple*: Sensor ini mengukur suhu berdasarkan perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh dua logam berbeda yang disambungkan. *Thermocouple* cocok untuk pengukuran suhu tinggi dan memiliki waktu respons yang cepat.

Gambar 2. 5 Sensor *Thermocouple*



Sumber: Kongsberg, n.d. MB640 Marine Temperature Sensor

- b) *Resistance Temperature Detectors* (RTD): RTD, seperti Pt100 dan Pt1000, mengukur suhu berdasarkan perubahan resistansi listrik dari logam, biasanya platinum. Sensor ini menawarkan akurasi tinggi dan stabilitas jangka panjang.

Gambar 2. 6 Sensor RTD PT100



Sumber: Hermawan, A.S. dan Susilo. Monitoring Engine RPM And Lubricating Oil Temperature In IOT-Based Generators

Dalam studi oleh Hermawan, A.S. & Susilo, (2021) penggunaan sensor PT100 pada sistem monitoring suhu minyak pelumas berbasis IoT menunjukkan efektivitas dalam memantau suhu secara real-time, dengan tingkat keberhasilan pengukuran mencapai 90% dalam 10 kali pengujian.

3. Aplikasi Sensor Suhu dalam Sistem Mesin Kapal

Sensor suhu digunakan untuk memantau berbagai parameter penting dalam mesin kapal, seperti:

- a) Suhu gas buang: Memantau suhu gas buang membantu dalam mendeteksi pembakaran yang tidak efisien atau masalah pada sistem injeksi bahan bakar.

- b) Suhu air pendingin: Pengukuran suhu air pendingin penting untuk memastikan sistem pendingin berfungsi dengan baik dan mencegah overheating.
- c) Suhu oli pelumas: Memantau suhu oli pelumas membantu dalam menjaga viskositas oli dan mencegah kerusakan pada komponen mesin.

Sistem monitoring suhu minyak pelumas berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor DS18B20 yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini mampu memberikan pelaporan data suhu secara akurat dan real-time, dengan tingkat kesalahan pengukuran sebesar 0,972%. Agustini, S.A., dkk. (2023).

4. Integrasi Sensor Suhu dengan Sistem Monitoring

Sensor suhu modern dapat diintegrasikan dengan sistem monitoring dan kontrol mesin, memungkinkan pemantauan suhu secara real-time dan otomatisasi respons terhadap kondisi abnormal. Sistem diagnostik berbasis *digital twin* yang mengintegrasikan data dari sensor suhu untuk memantau kondisi mesin dan mendeteksi kegagalan secara dini. Sistem ini menggunakan model neural network untuk memprediksi parameter operasional mesin dan membandingkannya dengan data sensor aktual, sehingga memungkinkan deteksi anomali dan pengambilan tindakan korektif secara cepat. Stoumpos & Theotokatos, (2022).

Oleh karena itu, keberadaan alat ukur suhu yang akurat dan terkalibrasi dengan baik tidak hanya berperan dalam memantau kondisi termal mesin, tetapi juga menjadi indikator penting untuk menilai kinerja sistem pendingin. Ketika suhu mesin terdeteksi melebihi batas normal, hal tersebut sering kali menjadi petunjuk awal adanya gangguan pada sistem yang harus segera diidentifikasi dan ditangani.

G. Pengaruh Sistem Pendinginan yang Tidak Optimal

Sebagaimana telah dibahas dalam Subbab sebelumnya, sistem pendinginan yang tidak optimal juga memainkan peran penting dalam mempercepat kerusakan ini. Ketika sistem pendinginan tidak berfungsi dengan baik, distribusi panas menjadi tidak merata, yang dapat menyebabkan area tertentu pada *cylinder head* mengalami suhu yang lebih tinggi daripada yang lain. Perbedaan suhu ini menimbulkan tegangan termal yang signifikan, yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan deformasi atau retakan pada material *cylinder head*.

Sistem pendinginan yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan suhu mesin secara keseluruhan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada komponen mesin, termasuk *cylinder head*. Studi ini menekankan pentingnya menjaga sistem pendinginan dalam kondisi optimal untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih.

Penelitian pada kapal KM. HTS 38 menunjukkan bahwa kurangnya pendingin dapat menyebabkan keretakan pada *cylinder liner*, yang merupakan bagian integral dari sistem silinder mesin. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan yang tidak optimal tidak hanya mempengaruhi *cylinder head* tetapi juga komponen lain dalam sistem mesin. Tona & Rohman, (2023).

Dengan demikian, menjaga sistem pendinginan dalam kondisi optimal sangat penting untuk mencegah keretakan pada *cylinder head* dan komponen mesin lainnya. Perawatan rutin dan pemeriksaan sistem pendinginan secara berkala dapat membantu mendeteksi dan memperbaiki masalah sebelum menyebabkan kerusakan yang lebih serius.

Oleh karena itu, sistem pendinginan yang bekerja secara tidak optimal tidak hanya mengganggu stabilitas suhu mesin, tetapi juga menjadi pemicu terjadinya peningkatan suhu berlebih secara terus-menerus. Jika kondisi ini berlangsung dalam jangka waktu lama tanpa penanganan, maka akan terjadi akumulasi beban panas yang

berdampak langsung terhadap ketahanan material komponen, termasuk *cylinder head*. Akumulasi beban panas inilah yang akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

H. Pengaruh Akumulasi Beban Termal Berlebih

Setelah membahas bagaimana sistem pendinginan yang tidak optimal dapat menyebabkan gangguan pada kestabilan suhu kerja mesin, maka penting pula untuk memahami dampak lanjutannya, yaitu akumulasi beban termal berlebih pada komponen mesin, khususnya *cylinder head*. Ketika panas dari proses pembakaran tidak terdisipasi dengan baik akibat sistem pendinginan yang kurang efektif, maka panas tersebut akan terakumulasi dan menimbulkan tegangan termal yang signifikan pada struktur material.

Cylinder head merupakan bagian mesin yang mengalami fluktuasi suhu tinggi akibat proses pembakaran. Ketika sistem pendingin tidak mampu menjaga suhu tetap stabil, terjadi akumulasi panas yang menyebabkan tegangan termal pada material. Tegangan ini, jika terjadi secara berulang, dapat memicu kelelahan material dan akhirnya menyebabkan keretakan.

Cylinder head mengalami kerusakan akibat beban termal dan mekanis yang berulang. Studi ini menemukan adanya retakan, keausan, dan pembengkokan pada *cylinder head* mesin diesel 4 tak, yang disebabkan oleh akumulasi beban termal dan kurang optimalnya sistem pendinginan. Hermawati, dkk. (2021).

Salah satu penyebab utama terjadinya keretakan pada *cylinder head* adalah akumulasi panas berlebih akibat beban termal yang terus-menerus. Kondisi ini diperparah oleh sistem pendingin yang tidak optimal, seperti filter sea chest yang tersumbat, sehingga suhu air pendingin meningkat di luar batas normal. Ketidakseimbangan suhu ini menyebabkan material *cylinder head* mengalami kelelahan termal, di mana logam secara berulang memuai dan menyusut, hingga akhirnya memicu keretakan. Kerusakan ini semakin parah ketika air pendingin

masuk ke ruang bakar, menurunkan efisiensi pembakaran dan kinerja mesin secara keseluruhan. Wicaksono (2021).

Dengan demikian, akumulasi beban termal yang disebabkan oleh sistem pendinginan yang tidak optimal merupakan faktor signifikan dalam keretakan *cylinder head*. Penting bagi operator kapal untuk memastikan sistem pendinginan berfungsi dengan baik dan menggunakan air pendingin yang memenuhi standar untuk mencegah kerusakan akibat beban termal berlebih.

I. Permasalahan yang Relevan

Walaupun *cylinder head* pada mesin induk kapal telah dirancang dengan mempertimbangkan kekuatan terhadap temperatur tinggi, tekanan pembakaran, serta siklus beban berulang, namun pada praktiknya tetap ditemukan berbagai permasalahan operasional yang berujung pada keretakan komponen ini. Permasalahan ini menjadi penting karena berkaitan langsung dengan efisiensi pembakaran, keandalan sistem pendingin, serta potensi kerusakan lanjutan pada sistem tenaga kapal.

Beberapa studi menunjukkan bahwa permasalahan umum yang sering terjadi di lapangan meliputi air pendingin yang tidak sesuai spesifikasi, sistem pendinginan yang tidak optimal (Hermawati, dkk. 2021), akumulasi beban termal, serta korosi akibat masuknya gas bersuhu tinggi ke dalam retakan mikro. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara rancangan teoritis dan kondisi operasional nyata, yang menjadi dasar penting bagi penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini tidak dapat dipisahkan dari konteks studi yang relevan dan memiliki kaitan erat dengan penelitian sebelumnya yang memiliki topik serupa. Dalam upaya memperdalam pemahaman tentang topik penelitian, penulis mengacu pada dua penelitian sebelumnya yang memiliki kesamaan tema. Penelitian ini tidak berdiri sendiri, melainkan berintegrasi dengan penelitian lain yang memiliki topik serupa, sehingga memperkaya pemahaman tentang subjek yang diteliti.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Pembeda	Penelitian Sekarang	Penelitian Terdahulu 1	Penelitian Terdahulu 2
Peneliti & Tahun	Salman Faiz Muttaqin, 2025	Arra Aun Permata, 2022	Alvi Alfa Hadi, 2022
Judul	Analisis Terjadinya Keretakan <i>Cylinder Head</i> pada Mesin Induk di Kapal KM. Jetliner	Analisis Terjadinya Keretakan <i>Cylinder Head</i> Mesin Penggerak Utama di Kapal KM. Tonasa Lines IX	Analisis Penyebab Terjadinya Keretakan <i>Cylinder Head</i> pada Mesin Induk Di Kapal Mv. Cemtrans
Tempat	PT. Pelayaran Nasional Indonesia (KM. Jetliner)	PT. Tonasa Lines (KM. Tonasa Lines IX)	PT. Waruna Nusa Sentana (MV. Cemtrans)
Rumusan Masalah	Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya keretakan pada <i>cylinder head</i> mesin induk di kapal KM. Jetliner, Apa saja dampak yang ditimbulkan akibat keretakan pada <i>cylinder head</i> mesin induk di kapal KM. Jetliner, Bagaimana upaya pencegahan atau solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi keretakan pada <i>cylinder head</i> mesin induk di kapal KM. Jetliner	Apa yang menyebabkan terjadinya keretakan <i>cylinder head</i> mesin penggerak utama di kapal, Upaya apa yang dilakukan untuk mencegah terjadinya keretakan <i>cylinder head</i> mesin penggerak utama	Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya keretakan <i>cylinder head</i> mesin induk di atas kapal MV. Cemtrans

Metodologi Penelitian	Kualitatif Deskriptif	Deskriptif Kualitatif	Deskriptif Kualitatif
Hasil Penelitian	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keretakan <i>cylinder head</i> terjadi akibat kombinasi dua faktor utama, yaitu sistem pendingin yang tidak optimal akibat tersumbatnya <i>cooler plate</i>, serta akumulasi beban termal dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Dampak yang ditimbulkan mencakup infiltrasi air ke ruang bakar, korosi injektor, dan potensi terjadinya <i>water hammer</i>. Solusi yang diterapkan adalah penggantian <i>cylinder head</i>, pembersihan <i>cooler plate</i>, serta memperketat pengawasan visual pada <i>cylinder head</i> dan monitoring suhu mesin.	Hasil dari penelitian adalah: (1) Keretakan <i>cylinder head</i> pada mesin induk diakibatkan oleh kelelahan bahan, lebihnya jam kerja dan kurang berjalannya perawatan pada komponen mesin khususnya <i>cylinder head</i>, maka keretakan tidak dapat dihindari akibat menurunnya kekuatan dan ketahanan bahan. (2) Karena hambatan pada <i>exhaust system</i> menyebabkan panas yang berlebihan pada <i>cylinder head</i> sehingga menghambat penyerapan panas oleh air pendingin yang menyebabkan terjadinya pemanasan berlebih. (3) Karena proses pendinginan pada <i>cylinder head</i> kurang sempurna, maka akan menyebabkan tingginya temperatur	Hasil temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penyebab terjadinya keretakan <i>cylinder head</i> pada mesin induk disebabkan oleh terjadinya hambatan pada <i>exhaust valve</i> sehingga mesin over heat dan disebabkan kurangnya pendingin pada <i>cylinder head</i>.

		air sehingga memungkinkan penggaraman air yang menimbulkan kerak yang menghambat proses pendinginan sehingga menyebabkan keretakan.	
--	--	---	--

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar studi hanya membahas aspek umum dari kerusakan mesin kapal, seperti overheat, tekanan bahan bakar, atau sistem pelumasan. Namun, belum ada penelitian yang secara khusus membahas keretakan pada *cylinder head* mesin induk secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat mengisi kekosongan tersebut dengan pendekatan deskriptif dan observasi langsung di KM. Jetliner. Dan untuk memperjelas arah dan fokus penelitian ini, diperlukan penyusunan kerangka pikir yang menggambarkan hubungan antara teori, temuan lapangan, dan tujuan penelitian.

J. Kerangka Pikir

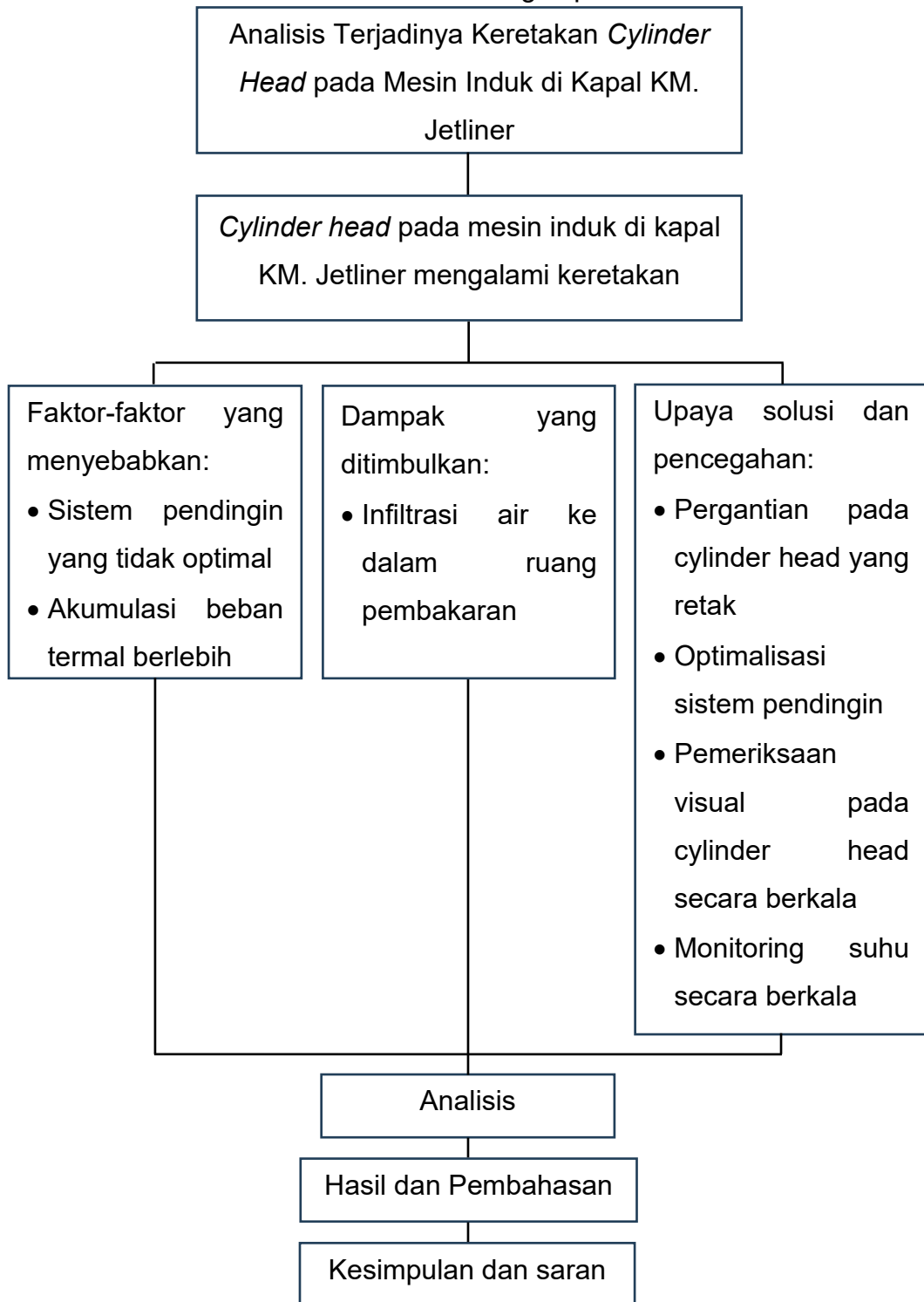
Penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi *cylinder head* pada mesin induk kapal, memahami karakteristik teknisnya, serta mengenali fungsinya dalam sistem kerja mesin induk. Selanjutnya, ditelusuri berbagai faktor penyebab keretakan, seperti kualitas air pendingin dan sistem pendingin yang tidak optimal, kelelahan material akibat suhu tinggi (*thermal fatigue*), hingga pengaruh dari kondisi operasional kapal yang tidak ideal.

Permasalahan keretakan yang ditemukan pada mesin induk KM. Jetliner kemudian dianalisis melalui pendekatan studi kasus, yang mengacu pada data lapangan serta didukung dengan literatur teknis dan

penelitian terdahulu. Hasil analisis ini diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai mekanisme terjadinya keretakan serta solusi pencegahannya.

Melalui kerangka pikir ini, peneliti ingin menunjukkan alur logis dari pengumpulan data hingga penyusunan kesimpulan, sehingga dapat memperjelas arah dan fokus penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 2. 2 Kerangka pikir



K. Hipotesis

Dugaan sementara yang disusun berdasarkan identifikasi masalah serta kerangka pikir yang telah dirumuskan sebelumnya. Hipotesis ini menjadi dasar dalam menganalisis penyebab keretakan pada *cylinder head* mesin induk KM. Jetliner, serta menjadi pijakan awal untuk memverifikasi kesesuaian antara kondisi lapangan dan teori yang relevan. Berdasarkan permasalahan yang teridentifikasi, maka hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem pendinginan yang tidak optimal, ditandai dengan penyumbatan pada *cooler plate*, diduga menjadi penyebab awal terjadinya ketidakseimbangan temperatur pada *cylinder head*.
2. Akumulasi beban termal yang berlebihan akibat fluktuasi suhu gas buang dan *coolant* yang tidak terkendali, diduga mempercepat kelelahan material dan memicu retakan pada *cylinder head*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan dan memahami secara mendalam fenomena teknis berupa keretakan pada komponen *cylinder head* mesin induk kapal KM. Jetliner. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengungkapkan fakta-fakta di lapangan secara rinci dan sistematis, berdasarkan pengalaman langsung, observasi teknis, dan wawancara dengan pihak yang terlibat dalam perawatan mesin kapal.

Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya keretakan pada *cylinder head*. Pendekatan deskriptif ini membantu peneliti dalam menjelaskan secara komprehensif bagaimana peristiwa keretakan terjadi, dampaknya terhadap performa mesin induk, serta tindakan teknis yang telah atau seharusnya dilakukan untuk menanggulangnya.

Adapun metode studi kasus digunakan karena penelitian ini berfokus pada satu objek spesifik yaitu mesin induk kapal KM. Jetliner yang mengalami kerusakan, sehingga memungkinkan peneliti untuk menggali informasi secara lebih detail dan kontekstual. Pemilihan kasus tunggal ini memungkinkan penyusunan rekomendasi teknis yang lebih tepat sasaran dan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Data dikumpulkan melalui pengamatan langsung di atas kapal, serta wawancara dengan awak kapal dan teknisi mesin induk. Hal ini memungkinkan peneliti memperoleh gambaran nyata kondisi operasional mesin dan pemicu terjadinya retakan. Dengan metode ini pula, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi nyata dalam memperbaiki praktik pemeliharaan, serta menjadi acuan untuk mencegah kerusakan serupa di masa mendatang.

B. Definisi Operasional Variabel

Dalam penelitian ini, definisi operasional variabel bertujuan untuk memberikan batasan yang jelas mengenai objek yang diamati agar proses analisis menjadi lebih terarah. Karena penelitian bersifat kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus, maka variabel tidak dinyatakan dalam bentuk angka atau skala, melainkan diuraikan secara deskriptif sesuai dengan fenomena di lapangan.

Variabel utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah keretakan pada komponen *cylinder head* mesin induk kapal KM. Jetliner. Variabel ini dipahami sebagai suatu kondisi teknis yang menunjukkan adanya gangguan atau kerusakan berupa retakan pada *cylinder head* yang dapat mengganggu sistem kerja mesin secara keseluruhan. Dalam praktiknya, variabel ini diamati melalui temuan langsung di atas kapal dan melalui wawancara teknis bersama awak kapal.

Agar penelitian tetap berada dalam koridor yang sesuai, variabel ini dipahami dari sisi penyebab, kondisi lingkungan operasional, serta kebiasaan perawatan dan inspeksi mesin yang berkaitan dengan keberadaan keretakan. Artinya, data yang diperoleh akan difokuskan untuk menjelaskan fenomena kerusakan tersebut secara deskriptif, tanpa harus dikuantifikasi.

Dengan merumuskan variabel secara operasional seperti ini, peneliti dapat lebih fokus dalam menggali data yang mendukung analisis penyebab keretakan *cylinder head*, tanpa keluar dari jalur penelitian. Ini sekaligus menjadi acuan dalam menyusun pembahasan di bab-bab berikutnya agar tetap relevan dengan tujuan awal penelitian.

C. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan secara terpadu melalui tiga metode utama, yaitu observasi langsung, wawancara, dan dokumentasi. Ketiga teknik ini dipilih untuk mendukung pendekatan kualitatif deskriptif yang bertujuan mengungkap kondisi aktual di lapangan secara menyeluruh dan mendalam.

Observasi langsung dilakukan oleh peneliti saat berada di atas kapal KM. Jetliner. Melalui pengamatan terhadap mesin induk, khususnya bagian *cylinder head*, serta proses perawatan rutin yang dilakukan oleh awak kapal, peneliti dapat memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi teknis di lapangan. Observasi ini menjadi penting dalam mengidentifikasi gejala-gejala awal keretakan dan mengevaluasi apakah prosedur perawatan sudah sesuai dengan standar teknis yang berlaku.

Wawancara semi-terstruktur digunakan sebagai metode berikutnya untuk menggali informasi secara lebih personal dan mendalam dari awak kapal yang bertanggung jawab terhadap operasional dan perawatan mesin induk. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk menanyakan hal-hal pokok yang telah dirancang sebelumnya, sekaligus memberi ruang untuk mengeksplorasi pengalaman dan pemahaman langsung dari narasumber mengenai penyebab keretakan *cylinder head* yang terjadi.

Sementara itu, teknik dokumentasi berfungsi sebagai pelengkap yang memperkuat hasil observasi dan wawancara. Dokumen yang dikaji meliputi buku panduan perawatan mesin, catatan harian operasional, dan laporan inspeksi teknis *cylinder head* di kapal KM. Jetliner. Melalui dokumentasi ini, peneliti dapat membandingkan praktik di lapangan dengan prosedur yang seharusnya dijalankan, serta menilai apakah terdapat deviasi (penyimpangan) yang berpotensi menyebabkan kerusakan.

Dengan menggabungkan ketiga teknik ini, penelitian diharapkan mampu menangkap realitas teknis secara komprehensif, serta menghasilkan analisis yang mendalam dan objektif mengenai penyebab keretakan *cylinder head* pada mesin induk kapal.

D. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan secara kualitatif melalui pendekatan deskriptif yang bertujuan mengungkap secara rinci

penyebab terjadinya keretakan pada *cylinder head* mesin induk di kapal KM. Jetliner. Proses analisis dilakukan secara bertahap, mulai dari reduksi data, penyajian data, hingga penarikan kesimpulan.

Reduksi data merupakan tahap awal yang dilakukan dengan menyaring informasi yang telah dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi. Data yang tidak relevan atau tidak mendukung fokus penelitian akan dieliminasi, sementara data utama akan dikategorikan sesuai dengan topik seperti penyebab teknis keretakan, kondisi operasional mesin, serta pola pemeliharaan yang diterapkan.

Selanjutnya, penyajian data dilakukan dalam bentuk narasi deskriptif. Data hasil wawancara disusun berdasarkan tema-tema yang muncul dari pengalaman dan pandangan awak kapal, seperti kebiasaan perawatan, faktor lingkungan kerja, serta upaya penanganan yang telah dilakukan. Data dari observasi dan dokumentasi akan dikonfirmasi silang untuk mendukung keabsahan temuan.

Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan, yang dilakukan dengan menafsirkan hubungan antar data yang telah disusun. Dari sini, peneliti dapat mengidentifikasi pola dan faktor dominan yang berkontribusi terhadap keretakan *cylinder head*, serta merumuskan rekomendasi teknis untuk mencegah kerusakan serupa di masa mendatang.

Analisis data ini dirancang agar tidak hanya menjelaskan *apa* yang terjadi, tetapi juga *mengapa* hal tersebut bisa terjadi, sehingga hasil penelitian dapat memberikan kontribusi nyata dalam praktik pemeliharaan mesin induk di kapal.

E. Jadwal Penelitian

Dalam pelaksanaan sebuah penelitian, perencanaan waktu merupakan hal penting yang harus disusun secara sistematis. Jadwal penelitian berfungsi sebagai pedoman dalam mengatur tahapan-tahapan kegiatan penelitian, mulai dari tahap persiapan hingga pelaporan akhir. Dengan jadwal yang terstruktur, peneliti dapat memantau progres secara berkala, mengantisipasi kendala di lapangan, serta menjaga kualitas hasil penelitian yang akan disusun.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dirancang secara sistematis dan berkesinambungan agar tujuan penelitian dapat tercapai dengan maksimal. Setiap tahapan dirancang sesuai dengan pendekatan kualitatif deskriptif yang digunakan, dimulai dari tahap persiapan hingga pelaporan akhir. Jadwal penelitian disusun untuk memberikan gambaran waktu pelaksanaan kegiatan secara terstruktur, sehingga seluruh proses penelitian dapat berjalan dengan efektif dan efisien.

Tahapan awal dimulai dari penyusunan proposal dan konsultasi dengan dosen pembimbing guna memperoleh arahan serta validasi terhadap rencana penelitian. Setelah proposal disetujui, peneliti melanjutkan dengan pengumpulan data di lapangan (praktik laut), yang terdiri dari observasi kondisi mesin induk kapal KM. Jetliner, wawancara dengan awak kapal, serta dokumentasi teknis terkait. Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif untuk mengidentifikasi penyebab keretakan pada *cylinder head*.

Setelah proses analisis selesai, peneliti melanjutkan ke tahap penyusunan laporan penelitian yang dituangkan dalam bentuk skripsi. Setiap tahapan disesuaikan dengan kalender akademik dan kesiapan teknis di lapangan. Adapun rincian waktu pelaksanaan tiap tahapan ditampilkan secara lengkap dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2023											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Pengumpulan Data Buku Referensi												
2	Pembahasan Judul												
3	Pemilihan Judul dan Bimbingan Penetapan Judul												
4	Seminar Proposal Judul Lama												
5	Penyusunan Penelitian												
6	Pengambilan Data Penelitian (PRALA)												
		Tahun 2024											
		Tahun 2025											
7	Pergantian dan Penetapan Judul Baru												
8	Bimbingan dan Penyusunan Hasil Penelitian												
9	Pra Seminar												
10	Seminar Hasil												
11	Seminar Tutup												

Jadwal tersebut menjadi acuan dalam mengelola waktu dan kegiatan penelitian, serta memastikan bahwa seluruh proses berjalan sesuai dengan perencanaan yang telah disusun. Dengan adanya jadwal yang terstruktur, penelitian ini diharapkan dapat diselesaikan tepat waktu dan memberikan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan secara akademis maupun praktis.