

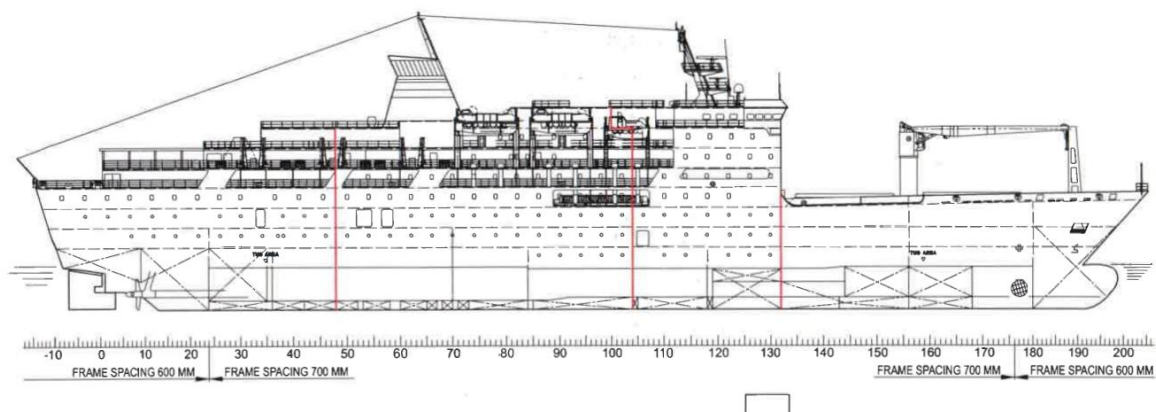
termasuk data dari simulasi yang dilakukan, untuk memberikan jawaban terhadap seluruh pertanyaan yang tercantum dalam rumusan masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Utama Kapal dan Mesin

Tabel 4.5 Data utama kapal KM. Gunung Dempo

LOA	147,00
LBP	130,00
Breadth	23,40
Draft	5,90
GRT	14.030
DWT	4.026

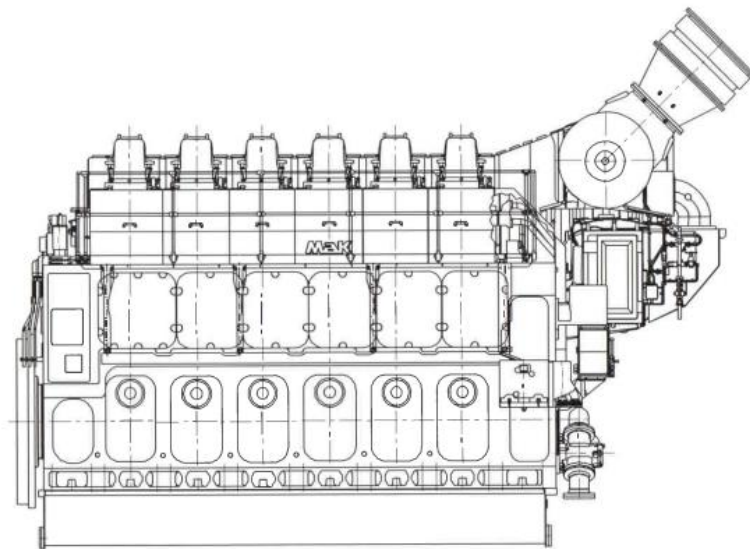


Gambar 4.1 Kapal KM. Gunung Dempo

Sumber (Gmbh et al., 2008)

Tabel 4.6 *General Data Main Engine*

<i>Manufacturer</i>	<i>Mak – Caterpillar</i>
<i>Type</i>	<i>6 M 43 C</i>
<i>Rated power</i>	<i>6000 kW</i>
<i>Rated Speed</i>	<i>500 rpm</i>
<i>Engine data</i>	<i>4 stroke Direct injection 6 cylinder in-line</i>
<i>Diameter Bore x Stroke</i>	<i>430 mm x 610 mm</i>
<i>Tekanan kompresi</i>	<i>± 180 bar</i>



Gambar 4.2 *Main Engine 6 M 43 C*

Sumber (Gmbh et al., 2008)

4.2 Studi Literatur

Kegiatan ini bertujuan untuk menelaah berbagai teori, konsep fundamental, dan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik penelitian. Tujuannya adalah untuk memperkuat dasar teoritis, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, serta merumuskan pendekatan yang sesuai dalam

pelaksanaan studi. Literatur yang digunakan diperoleh dari sumber-sumber terpercaya seperti buku, jurnal ilmiah, dan karya akademik lainnya.

4.3 Observasi

Observasi terhadap kondisi *cylinder head* kapal KM. Gunung Dempo dilakukan berdasarkan laporan FPP (Formulir Pemeriksaan Perawatan) yang disusun oleh kru kapal. Laporan tersebut mencatat adanya keretakan berulang pada *cylinder head*, yang terus terjadi meskipun komponen tersebut telah diganti dengan unit baru dalam kurun waktu beberapa bulan terakhir.

Keretakan umumnya terjadi sekitar ruang bakar, khususnya di bagian dudukan katup buang dan permukaan atas *cylinder head*. Gejala yang muncul akibat keretakan ini mencakup penurunan tekanan kompresi serta kebocoran gas pembakaran yang dapat memengaruhi performa mesin. Kondisi tersebut memerlukan perhatian khusus karena dapat berpotensi mengganggu efisiensi operasional dan mesin utama kapal.

4.4 Pengumpulan Data Sekunder

Teknik pengumpulan data merupakan tahapan penting dalam suatu penelitian, mengingat data merupakan komponen utama yang menjadi dasar dalam melakukan analisis. Tanpa pemahaman yang baik terhadap teknik pengumpulan data, peneliti berisiko memperoleh data yang tidak sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan (Muhammad Rizal Pahleviannur, S.Pd. et al., 2022) Pengumpulan data sekunder merupakan tahap penting dalam mendukung analisis penelitian ini, di mana data dikumpulkan dari berbagai dokumen dan catatan yang telah ada sebelumnya. Data sekunder berfungsi sebagai pelengkap data primer yang diperoleh melalui observasi dan wawancara. Dalam konteks penelitian terhadap kerusakan *cylinder head* kapal KM. Gunung Dempo, data sekunder digunakan untuk menelusuri riwayat kerusakan, pola pemeliharaan, dan dokumentasi teknis yang berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan performa dan keandalan komponen. Sumber data sekunder meliputi arsip dokumen kapal, laporan FPP, sistem *Planned Maintenance System* (PMS), buku

manual mesin, serta logbook operasional. Dari data-data tersebut, peneliti dapat mengidentifikasi adanya kecenderungan atau pola kerusakan yang berulang, mengevaluasi efektivitas prosedur perawatan yang dijalankan, serta melihat sejauh mana faktor usia (*hours*) kapal dan sistem pendukung mesin seperti pendinginan turut berkontribusi terhadap kerusakan *cylinder head*. Mengumpulkan data terkait kerusakan di masa lalu.

4.4.1 Data Kerusakan

Data kerusakan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Form Permintaan Perbaikan (FPP) yang diajukan oleh pihak kapal KM. Gunung Dempo kepada departemen perawatan atau manajemen teknis. FPP ini berisi laporan resmi terkait permintaan perbaikan yang mencakup rincian kerusakan pada mesin utama, khususnya pada komponen *cylinder head*. Informasi yang tercantum dalam FPP meliputi tanggal kejadian, jenis kerusakan (seperti retak, keausan, atau kebocoran), lokasi atau posisi *cylinder* yang mengalami masalah, serta tindakan korektif yang telah dilakukan oleh teknisi di atas kapal.

Selain itu, data frekuensi kerusakan juga dikumpulkan berdasarkan rentang waktu tertentu, dengan tujuan untuk mengidentifikasi adanya pola kerusakan berulang atau peningkatan frekuensi kerusakan pada periode atau kondisi operasional tertentu. Analisis terhadap data ini sangat berguna untuk mendeteksi kemungkinan adanya penyebab sistemik, kekurangan dalam prosedur perawatan, atau faktor operasional yang dapat mempengaruhi tingkat keausan dan kerusakan pada *cylinder head* mesin utama kapal.

4.4.2 Data PMS (*Planned Maintenance System*)

Data dari PMS mencakup jadwal pelaksanaan perawatan, jenis pekerjaan yang dilakukan (*inspection, maintenance, cleaning, replacement*), Melalui data ini, peneliti dapat melihat apakah pemeliharaan dilakukan tepat waktu dan sesuai dengan rekomendasi dari pabrikan mesin

atau tidak. Selain itu, data ini juga dapat menunjukkan hubungan antara keterlambatan pemeliharaan dengan munculnya kerusakan tertentu.

Tabel 4.7 *Prosedur Maintenance Cylinder Head* (Sumber penulis 2025)

<i>Interval</i>	<i>Component</i>	<i>Check, Work To Be Carrying Out</i>
<i>150 Hours</i>	<i>Cylinder Head</i>	<i>Inspection/Checking</i>
<i>1500 Hours</i>	<i>Inlet & Exhaust Valve Cylinder Head</i>	<i>Inspection & Adjust Valve Clearance</i>
<i>7500 Hours</i>	<i>Inlet & Outlet Valve Cones</i>	<i>Inspection/Disassembly & Reassembly</i>
<i>15000 Hours</i>	<i>Inlet & Exhaust Valve Cones</i>	<i>Inspection/Disassembly & Reassembly</i>
<i>30000 Hours</i>	<i>Valve Guide</i>	<i>Inspection & Replace</i>
	<i>Cylinder Head</i>	<i>Maintenance & Cleaning</i>
	<i>Relief Valves</i>	<i>Maintenance & Replace</i>
	<i>Valves Rockers</i>	<i>Maintenance/Disassembly & Reassembly</i>

4.4.3 Data prosedur perawatan

Data ini berisi prosedur standar operasional (SOP) perawatan pada *Main engine* kapal KM. Gunung dempo mengacu pada *manual book* yang mencakup tindakan perawatan per *hours*. Beberapa aspek penting dalam SOP tersebut antara lain pengecekan temperatur kerja, tekanan pelumas, kondisi pendinginan, serta pengencangan baut silinder kepala (*cylinder head*). Dalam praktiknya, tindakan seperti pengukuran *clearance valve*, pembersihan *injector*, serta pemeriksaan visual terhadap permukaan *cylinder head* dan sekitarnya harus dilakukan secara berkala. Namun, data hasil pemeriksaan di lapangan menunjukkan bahwa keretakan pada *cylinder head* tetap terjadi, yang menandakan adanya deviasi dalam pelaksanaan prosedur atau faktor lain yang belum tertangani dengan optimal. Data prosedur perawatan terdapat pada Lampiran 3 Data Operasional Mesin KM.Gunung Dempo Dempo (Sumber: PT. PELNI (Persero), 2025)

4.4.4 Data Usia Penggunaan *Cylinder Head*

Data ini mencakup informasi tentang umur atau jam kerja mesin kapal, Usia pakai dihitung berdasarkan catatan running hour dari mesin utama yang dicatat secara berkala dalam logbook kapal.

Melalui data ini, peneliti dapat melakukan perbandingan antara usia pakai aktual dengan umur teknis yang direkomendasikan oleh pabrikan. Jika kerusakan terjadi jauh sebelum mencapai usia pakai normal, maka hal tersebut dapat mengindikasikan adanya permasalahan lain seperti kualitas material, prosedur perawatan, atau kondisi operasi yang tidak ideal. Data usia penggunaan cylinder head terdapat pada Lampiran 6 Data jam kerja operasional KM. Gunung Dempo (Sumber: PT. PELNI (Persero), 2025)

4.4.5 Data Sistem Pendingin

Sistem pendingin memiliki peran krusial dalam menjaga temperatur kerja mesin, termasuk pada komponen cylinder head.

Selain itu, data suhu operasional yang terekam dalam *logbook* harian juga dianalisis untuk melihat apakah terdapat penurunan atau kenaikan yang signifikan, yang dapat memicu keretakan pada *cylinder head*. Dan hasilnya didapati bahwa selama 1 bulan terakhir tidak terdapat perubahan suhu yang signifikan. Data sistem pendingin terdapat pada Lampiran 5 data harian manual book KM. Gunung Dempo (Sumber: PT. PELNI (Persero), 2025)

4.5 Analisa Perbaikan *Cylinder Head*

Berdasarkan laporan hasil perbaikan dari pihak bengkel PT. Multi Diesel Service (terlampir dalam Lampiran 4), telah dilakukan proses perbaikan terhadap komponen *cylinder head* mesin induk KM. Gunung Dempo. Proses ini merupakan tindak lanjut dari ditemukannya keretakan pada beberapa unit *cylinder head*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada bagian analisis akar penyebab (RCA). Proses perbaikan yang dilakukan bertujuan untuk mengembalikan fungsi dan kekuatan

mekanik *cylinder head* agar dapat digunakan kembali sesuai dengan standar teknis pabrikan. Tahapan perbaikan secara umum dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain:

4.5.1 Pemeriksaan Awal

Langkah awal yang dilakukan adalah pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi fisik *cylinder head*. Pemeriksaan dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan, keausan, retakan, dan deformasi yang terjadi. Beberapa area kritis yang diperiksa meliputi:

1. *Valve seat dan valve guide*
2. Permukaan sealing
3. Saluran pendingin (*water jacket*)
4. Lubang *injektor dan spark plug*
5. Kecedapan tekanan ruang bakar

4.5.2 Pengelasan dan *Machining*

Setelah ditemukan adanya kerusakan pada valve seat pocket, dilakukan proses pengelasan untuk menutup celah atau retakan. Proses ini menggunakan metode welding dengan material pengisi yang kompatibel dengan logam dasar *cylinder head*. Setelah pengelasan selesai, area tersebut dimesin ulang (*machining*) agar dimensi kembali presisi dan siap dipasangkan dengan *valve seat* baru

4.5.3 Pergantian Komponen internal

Komponen-komponen yang mengalami aus dan sudah tidak dapat digunakan lagi diganti dengan suku cadang baru, antara lain:

1. *Valve seat*
2. *Valve guide*
3. *Seals*
4. *O-ring*

5. *Bushings*

Semua penggantian dilakukan sesuai spesifikasi pabrikan MaK 6 M 43 C.

4.5.4 Pemasangan Dan Perakitan Kembali

Setelah semua bagian diperbaiki dan dibersihkan, komponen cylinder head dirakit kembali. Setiap bagian dipasangkan dengan torsi yang sesuai dengan standar teknis. Pemasangan bush juga diperhatikan ketat, dan Loctite atau perekat yang digunakan dipastikan melalui proses pengeringan sempurna sesuai waktu curing minimal.

4.5.5 Pengujian Tekanan (*Pressure Test*)

Setelah perakitan selesai, dilakukan pengujian tekanan untuk memastikan tidak terdapat kebocoran pada sistem pendingin internal. *Cylinder head* diuji dengan tekanan 10 bar, sesuai dengan standar pengujian teknis. Jika lolos uji tanpa kebocoran, maka cylinder head dinyatakan layak digunakan kembali.

4.5.6 Dokumentasi dan Serah Terima

Semua hasil pekerjaan didokumentasikan dan dilampirkan dalam laporan akhir servis. *Cylinder head* yang telah selesai diperbaiki diserahkan kembali kepada pihak operator kapal untuk dilakukan pemasangan di mesin induk.

4.6 Wawancara

Wawancara dilakukan dengan 1 pegawai PT. PELNI (Persero) yang terlibat langsung dalam operasional kapal KM. Gunung Dempo Tujuan dari wawancara ini adalah untuk menggali informasi general mengenai perawatan dan masalah teknis yang terjadi pada mesin kapal, khususnya terkait dengan kerusakan pada *cylinder head* yang telah diobservasi sebelumnya.

Beberapa poin utama yang diperoleh dari wawancara antara lain:

1. Pernyataan mengenai perawatan berkala yang dilakukan terhadap mesin kapal, termasuk prosedur penggantian komponen dan pemeriksaan berkala terhadap *cylinder head*.
2. Pengalaman teknisi mengenai keretakan yang sering terjadi meskipun komponen baru telah dipasang, serta upaya yang sudah dilakukan untuk menangani masalah tersebut.

3. Kendala dalam proses perawatan, seperti keterbatasan waktu saat kapal beroperasi dan tantangan dalam mendapatkan suku cadang berkualitas tinggi sesuai spesifikasi yang dibutuhkan.
4. Usulan dari operator kapal terkait penanganan lebih lanjut terhadap masalah yang berulang, termasuk kemungkinan penggunaan bahan bakar yang lebih sesuai dan evaluasi kembali sistem pendinginan mesin.

Hasil wawancara ini memberikan gambaran lebih jelas mengenai permasalahan teknis yang dihadapi oleh kapal KM. Gunung Dempo, serta solusi yang sudah diterapkan dan tantangan yang masih ada dalam menjaga performa mesin tetap optimal.

4.6.1 Hasil Wawancara

Hasil wawancara berupa percakapan dengan Bapak Jefry selaku divisi Teknik PT. Peln Persero, pertanyaan terkait dengan pertanyaan umum mengenai kerusakan *cylinder head* yang sering terjadi di PT. Peln Persero .

Penulis: Selamat siang, Pak. Terima kasih atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dalam wawancara ini. Saya ingin mengajukan beberapa pertanyaan terkait kerusakan pada *cylinder head* mesin induk kapal. Pertama, bagaimana cara mengidentifikasi adanya kerusakan pada komponen tersebut?

Narasumber: Indikasi awal kerusakan pada *cylinder head* umumnya ditandai oleh kondisi operasi yang tidak normal. Beberapa gejala yang dapat diamati meliputi masuknya air pendingin ke dalam ruang bakar, keluarnya air melalui *safety valve*, serta adanya retakan yang terlihat secara visual pada permukaan *cylinder head*.

Penulis: Jenis kerusakan seperti apa yang paling sering terjadi?

Narasumber: Jenis kerusakan yang paling umum terjadi adalah retakan pada *cylinder head*. Selain itu, kerusakan juga dapat terjadi pada komponen katup (*valve*) yang mengalami pecah. Faktor penyebabnya

cukup beragam, antara lain kelelahan material dan fungsi valve rotator yang tidak berjalan dengan baik, sehingga katup tidak dapat berputar secara normal.

Penulis: Apa saja faktor utama yang menyebabkan kerusakan-kerusakan tersebut?

Narasumber: Retakan sering kali disebabkan oleh pengencangan *exhaust valve* yang melebihi standar yang ditentukan, sistem pendingin yang tidak bekerja secara optimal, serta kurangnya perhatian teknisi terhadap kondisi ruang bakar dan tekanan kompresi. Selain itu, penggunaan joint ring yang terlalu tipis juga dapat meningkatkan tekanan kompresi, yang pada akhirnya mempercepat kerusakan komponen.

Penulis: Apa saja langkah-langkah perbaikan yang biasanya dilakukan jika terjadi kerusakan pada *cylinder head*?

Narasumber: Langkah pertama adalah membongkar dan memeriksa bagian yang mengalami kerusakan. Jika ditemukan retakan, maka perbaikannya dilakukan melalui proses pengelasan atau penggantian komponen, tergantung pada tingkat keparahan kerusakan. Seluruh proses perbaikan harus dilaksanakan sesuai dengan prosedur teknis yang ditetapkan agar tidak menimbulkan kerusakan lanjutan.

Penulis: Material seperti apa yang digunakan dalam proses perbaikan *cylinder head*?

Narasumber: Material yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi dari pabrikan. Umumnya, digunakan besi tuang atau campuran logam khusus yang tahan terhadap suhu tinggi, bergantung pada jenis mesin dan tingkat kerusakan yang terjadi.

Penulis: Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perbaikan *cylinder head*?

Narasumber: Jika kerusakan bersifat ringan, maka proses perbaikan dapat diselesaikan dalam waktu satu hingga dua hari. Namun, jika kerusakan cukup parah dan memerlukan pengelasan atau penggantian komponen khusus, waktu perbaikan bisa memakan waktu hingga satu minggu.

Penulis: Bagaimana agar proses perbaikan dapat berjalan secara efisien, baik dari segi waktu maupun biaya?

Narasumber: Efisiensi perbaikan sangat bergantung pada kepatuhan terhadap prosedur teknis yang benar. Terkadang, kerusakan justru menjadi lebih parah akibat kesalahan dalam prosedur perbaikan. Selain itu, penggunaan bahan bakar seperti B35, yang tidak selalu sesuai dengan spesifikasi mesin dari pabrikan, juga dapat mempercepat kerusakan. Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah vibrasi mesin akibat pengoperasian kapal di perairan dangkal tanpa penyesuaian putaran mesin (RPM).

Penulis: Terakhir, bagaimana cara menjaga agar *cylinder head* tetap dalam kondisi optimal dan tidak mudah mengalami kerusakan?

Narasumber: Pemeliharaan harus dilakukan secara rutin dan mengikuti standar yang ditetapkan oleh pabrikan. Pemeriksaan sistem pelumasan, kualitas bahan bakar, sistem pendingin, dan tekanan kompresi harus dilaksanakan secara berkala. Pemasangan joint ring juga harus dilakukan dengan presisi tinggi agar tidak menimbulkan kebocoran atau ketidakseimbangan tekanan yang dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut.

4.7 Kuisisioner Kerusakan *Cylinder Head Main Engine*

Untuk memperoleh data primer yang mendukung analisis kerusakan pada *cylinder head* mesin induk kapal menggunakan metode *Root cause Analysis (RCA)*, penulis menyebarkan kuisisioner secara daring menggunakan platform *Google Form*. Kuisisioner ini dirancang untuk menggali informasi teknis dan pengalaman praktis dari personel yang memiliki kompetensi serta keterlibatan langsung dalam kegiatan perawatan dan perbaikan mesin induk kapal, khususnya pada komponen *cylinder head*.

Kuisisioner terdiri dari delapan pertanyaan terbuka yang disusun berdasarkan pendekatan *Root Cause Analysis (RCA)*, dengan fokus pada identifikasi gejala awal kerusakan, jenis kerusakan yang umum terjadi, penyebab

potensial, langkah perbaikan, durasi pengerjaan, serta praktik perawatan yang diterapkan di lapangan.

Responden yang berpartisipasi dalam pengisian kuesioner berjumlah empat orang, yang semuanya memiliki latar belakang sebagai tenaga teknis atau engineer di bidang permesinan kapal. Data yang diperoleh dari kuesioner ini kemudian dikategorikan, dianalisis secara kualitatif, dan dijadikan dasar dalam perumusan diagram sebab-akibat (*Fishbone Diagram*)

Tabel 4.8 Hasil kuisisioner Google form terkait kerusakan *cylinder head*

No.	Pertanyaan	Ringkasan jawaban 4 responden	Kategori RCA	Tema kunci utama
1.	Apa saja tanda-tanda awal kerusakan <i>cylinder head</i> ?	Kebocoran oli, asap putih, tekanan air menurun, suara tidak lazim, suhu tinggi, kehilangan daya, indikator keluar air	<i>machine</i>	<i>Overheating, kebocoran, abnormal sound</i>
2.	Jenis kerusakan apa yang paling sering terjadi di <i>cylinder head</i> ?	<i>Cylinder head</i> retak, kebocoran oli & air, keausan valve, pecah klep, baut patah	material	Retakan, keausan, gasket bocor
3.	Apa saja penyebab umum dari kerusakan <i>cylinder head</i> ?	Pendinginan buruk, buntu di jalur AT, <i>lifetime</i> komponen, kesalahan saat perakitan	<i>Method/</i> material	<i>Cooling failure, kesalahan pasang</i>
4.	Bagaimana cara mengatasi masalah secara efektif?	Maintenance rutin, cek sirkulasi pendingin, pasang spare part asli, pasang oleh teknisi ahli, ganti part yang aus	<i>method</i>	<i>preventive maintenance</i>
5.	Apakah penyebab karena waktu, operasional, atau lainnya?	Kombinasi dari keausan (jam kerja tinggi), pendingin bermasalah, kesalahan	<i>Man/</i> material	Keausan/ <i>human error</i>

No.	Pertanyaan	Ringkasan jawaban 4 responden	Kategori RCA	Tema kunci utama
		pengoperasian (start-up tidak tepat)		
6.	Langkah- Langkah apa yang biasa dilakukan dalam proses perbaikan <i>cylinder head</i> ?	Pemeriksaan, pembongkaran, penggantian part, pengelasan, uji tekanan, uji kebocoran gas	<i>Time/ Method</i>	Prosedur/ <i>overhaul</i>
7.	berapa lama waktu perbaikan <i>cylinder head</i> ?	Bervariasi dari 2 jam – 1 bulan, tergantung tingkat kerusakan, jenis kapal, dan kesiapan <i>part</i>	<i>method</i>	Variatif 2 jam -1bulan
8.	Apa saja praktik perawatan yang dapat diterapkan untuk menjaga agar <i>cylinder head</i> tetap dalam kondisi baik dan tidak cepat rusak?	Perawatan sesuai SOP/manual, periksa valve, stel klep, rawat air pendingin, gunakan oli berkualitas, treatment AT	<i>method</i>	Perawatan preventif terjadwal

Berdasarkan hasil kuisioner yang dilakukan terhadap empat responden yang merupakan tenaga ahli di bidang pemeliharaan mesin induk (KKM) kapal, diperoleh informasi mengenai tanda-tanda awal terjadinya kerusakan pada *cylinder head*. Beberapa gejala umum yang sering diamati antara lain adalah munculnya kebocoran oli, peningkatan suhu gas buang, penurunan tekanan pada sistem pendingin air tawar, suara mesin yang tidak normal, serta keluarnya asap putih saat indikator dibuka baik pada kondisi operasi maupun stasioner. Selain itu, penurunan daya mesin juga menjadi indikasi awal kerusakan, yang biasanya terdeteksi melalui pengukuran tekanan pembakaran dan suhu operasi.

Adapun jenis kerusakan yang paling sering terjadi meliputi retakan pada struktur *cylinder head*, kebocoran cairan pendingin, keausan komponen internal seperti *valve*, dan kerusakan mekanis pada baut *stud bolt* maupun *valve seat*.

Penyebab umum dari kerusakan tersebut dapat dikategorikan dalam beberapa faktor utama, yaitu sistem pendingin yang tidak bekerja secara optimal akibat penyumbatan pada jalur air tawar, perawatan yang tidak dilakukan secara rutin dan terstruktur, serta kesalahan dalam proses perakitan komponen yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis dari pabrikan. Selain itu, umur pakai komponen (*lifetime*) juga menjadi salah satu faktor signifikan, terutama pada mesin dengan jam operasi tinggi (>50.000 jam).

Mengenai waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan *cylinder head*, diperoleh variasi yang cukup signifikan, mulai dari 2 jam hingga lebih dari satu bulan, bergantung pada tingkat kerusakan, ketersediaan suku cadang, serta lokasi pengerjaan (di kapal atau di darat). Hal ini menunjukkan perlunya sistem logistik suku cadang dan personel yang responsif untuk menghindari downtime mesin yang berkepanjangan.

Praktik perawatan yang direkomendasikan untuk menjaga kondisi *cylinder head* agar tetap optimal mencakup: pemeriksaan berkala terhadap *valve* dan sistem pelumasan, perawatan rutin air pendingin (termasuk *treatment* kimia), serta penyesuaian klep (*valve clearance*) dan penggantian injektor sesuai jam kerja operasional. Semua kegiatan ini hendaknya dilakukan berdasarkan acuan dari SOP teknis dan jadwal perawatan yang telah ditentukan oleh pihak operator kapal atau pabrikan mesin.

4.8 Hasil Wawancara "5 Whys Method"

Wawancara dilakukan dengan satu orang narasumber yang merupakan pegawai bagian teknis di PT. PELNI (Persero) dan terlibat langsung dalam operasional serta perawatan mesin induk kapal KM. Gunung Dempo. Tujuan utama wawancara ini adalah untuk menggali akar penyebab terjadinya keretakan pada *cylinder head* dengan pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA), menggunakan teknik *5 Whys* yang dikembangkan hingga sembilan tahapan pertanyaan untuk mendapatkan pemahaman mendalam terhadap permasalahan yang terjadi secara berulang.

4.8.1 Alur pertanyaan "Whys"

Tabel 4.9 Tahapan Pertanyaan "whys"

Tahap	Pertanyaan "Why"	Jawaban
Why 1	Mengapa <i>cylinder head</i> mengalami keretakan ?	Karena terjadi kelemahan struktur pada <i>cylinder head</i> .
Why 2	Kenapa terjadi kelemahan struktur pada <i>cylinder head</i> ?	Karena usia <i>cylinder head</i> yang telah melewati batas umur pakai.
Why 3	Kenapa masih menggunakan <i>cylinder head</i> yang telah melewati batas umur?	Karena proses pengadaan <i>cylinder head</i> baru membutuhkan waktu yang panjang sehingga menggunakan alternatif perbaikan dan perawatan <i>cylinder head</i> yang lama.
Why 4	Kenapa membutuhkan waktu yang panjang untuk pembelian <i>sparepart</i> ?	Karena pembelian <i>sparepart</i> baru membutuhkan fabrikasi terlebih dahulu karena spare part tidak restock, sehingga tetap menggunakan <i>cylinder head</i> lama yang telah di rekondisi yang sering mengalami kerusakan berulang .
Why 5	kenapa <i>cylinder head</i> yang lama setelah rekondisi sering mengalami kerusakan yang berulang?	Karena pemasang <i>bush</i> yang yang belum sempurna.

Tahap	Pertanyaan "Why"	Jawaban
Why 6	Kenapa pemasangan <i>bush</i> tidak sempurna ?	Karena <i>loctite</i> untuk menyegel <i>bush</i> belum mengering dengan maksimal saat <i>cylinder head</i> dipasang dan digunakan.
Why 7	Kenapa Loctite belum kering maksimal ?	Karena waktu pengeringan tidak diberikan cukup lama setelah aplikasi.
Why 8	Kenapa waktu pengeringan tidak diberikan cukup lama ?	Karena me ngejar kebutuhan operasinal.
Why 9	Kenapa teknisi terburu buru dalam proses rekondisi dan pemasangan?	Karena tidak ada kontrol prosedur yang ketat dan adanya tekanan dari manajemen operasional untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan.

Berdasarkan hasil analisis *Root Cause* dengan menggunakan metode 5 *Whys Analysis* yang diperluas hingga 9 tahapan, dapat disimpulkan bahwa keretakan pada *cylinder head* tidak hanya disebabkan oleh kelelahan material semata, tetapi merupakan akibat dari rangkaian penyebab sistemik yang saling terkait, baik dari sisi teknis maupun manajerial.

Faktor utama yang memicu keretakan adalah penggunaan *cylinder head* yang telah melewati batas usia pakai. Keputusan untuk tetap menggunakan komponen yang telah aus ini dilatar belakangi oleh keterbatasan dalam pengadaan suku cadang baru, khususnya karena spare part tersebut tidak tersedia dalam kondisi siap pakai (*ready stock*) dan membutuhkan proses fabrikasi terlebih dahulu. Sebagai akibatnya,

alternatif yang ditempuh adalah melakukan rekondisi pada *cylinder head* lama, meskipun komponen tersebut telah mengalami kerusakan berulang. Lebih lanjut, proses rekondisi yang dilakukan tidak berjalan secara optimal. Salah satu temuan penting adalah bahwa proses pemasangan bush dilakukan saat perekat (*Loctite*) belum mengering secara sempurna, yang menyebabkan daya ikat dan kekedapan tidak maksimal. Ketidaktepatan ini disebabkan oleh kurangnya waktu tunggu pengeringan, yang terjadi karena tekanan operasional untuk segera mengoperasikan mesin. Akar penyebab paling mendasar (*root cause*) dari rangkaian permasalahan ini adalah tidak adanya kontrol prosedur yang ketat dalam proses perawatan dan rekondisi komponen, serta adanya tekanan dari manajemen operasional untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan tanpa mempertimbangkan standar teknis yang seharusnya dijalankan.

4.9 Fishbone Diagram

Berdasarkan hasil analisis akar penyebab RCA (*Root Cause Analysis*) terhadap kasus keretakan *cylinder head* pada mesin induk kapal KM. Gunung Dempo menggunakan teknik pendekatan "5 whys" yang dikembangkan menjadi 9 whys dapat disimpulkan bahwa kerusakan tersebut tidak hanya disebabkan oleh kelelahan material, melainkan merupakan akumulasi dari berbagai faktor teknis, manajerial, dan prosedural. Untuk memperjelas hubungan antar penyebab secara sistematis, temuan ini divisualisasikan dalam bentuk Fishbone Diagram (Diagram Sebab-Akibat) di bawah ini. Diagram ini berfungsi sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi, mengelompokkan, serta memperlihatkan hubungan sebab-akibat dari berbagai faktor yang berperan dalam masalah tersebut. Dalam penelitian ini, faktor-faktor tersebut dikelompokkan ke dalam enam kategori utama.

Dengan adanya Fishbone Diagram, akar permasalahan dapat dianalisis secara lebih terstruktur, sehingga memudahkan dalam merumuskan solusi perbaikan yang lebih tepat dan efektif. Diagram ini mengelompokkan faktor penyebab ke dalam enam kategori utama, yaitu:

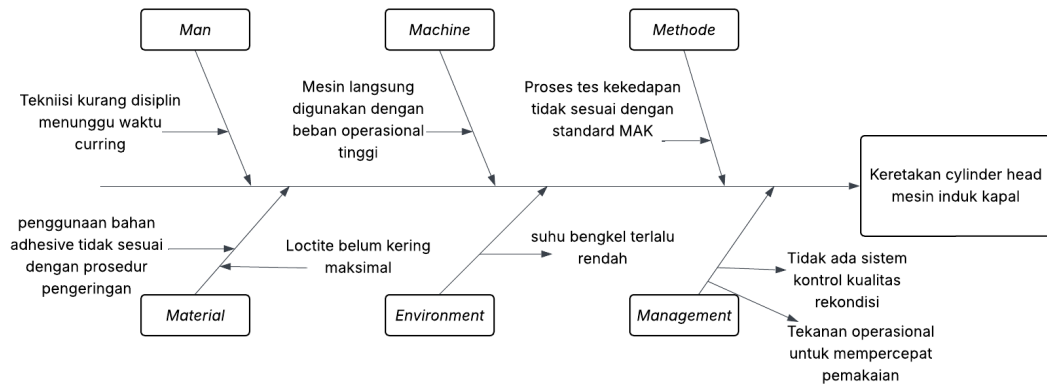
- a. Manusia (*people*)
- b. Mesin (*machine*)
- c. Metode (*method*)
- d. Bahan (*material*)
- e. Lingkungan (*Environment*)
- f. Pengukuran (*Management*)

Penjelasan mengenai kategori penyebab

Tabel 4. 10 Kategori penyebab *Fishbone*

Kategori	Detail penyebab
Manusia (<i>people</i>)	- Teknisi kurang disiplin menunggu waktu pengeringan <i>loctice</i>
Mesin (<i>machine</i>)	- Mesin langsung digunakan dengan beban operasional tinggi
Metode (<i>method</i>)	- Proses test kekedapan dilaksanakan tidak sesuai dengan standard MAK, <i>cylinder head</i> hanya di test 10 bar dengan waktu singkat dan suhu tidak mencapai 80 derajat celcius
Bahan (<i>material</i>)	- <i>loctice</i> belum kering maksimal - penggunaan bahan adhesive tidak sesuai prosedur pengeringan
Lingkungan (<i>Environment</i>)	- Suhu ruangan bengkel terlalu rendah
Pengukuran (<i>Management</i>)	- Tekanan operasional untuk mempercepat pemakaian - Tidak ada sistem kontrol kualitas rekondisi

Dengan hasil proses pengumpulan data, 3 tahapan wawancara dan pengelompokan kategori penyebab maka dihasilkan data fishbone diagram seperti



Gambar 4.3 *Fishbone Diagram*

4.10 *Matrix Risk Diagram*

Tabel 4.11 *Matriks Diagram Risk*

		<i>Consequence – Maximum reasonanble Consequence</i>				
		<i>insignificant</i>	<i>minor</i>	<i>moderate</i>	<i>major</i>	<i>catastrophic</i>
	<i>Alomost certain</i>	10	11	15	19	20
	<i>Likely</i>	6	8	12	16	18
	<i>Possible</i>	3	6	9	13	15
	<i>Unlikely</i>	2	4	6	9	10
	<i>Rare</i>	1	2	3	4	5

Berdasarkan hasil perhitungan dari Tabel 4.6 Matriks Diagram Risk didapati bahwa hasil akhir perhitungan untuk Matriks Diagram Risk sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Hasil akhir Perhitungan *Matrix Diagram Risk*

	Potensi risiko	Penilaian risiko			Keterangan
		Keseringan	Keparahan	Tingkat risiko	
1.	<i>Cylinder head</i> retak	5 (almost certain)	4 (major)	20 (extreme)	Sering terjadi dan menyebabkan gangguan signifikan pada operasi <i>main engine</i>
2.	Loctite tidak kering sempurna	3 (possible)	3 (moderate)	9 (medium)	Cukup mungkin terjadi dan berdampak pada kinerja komponen
3.	Penggunaan komponen melebihi usia	5 (almost certain)	3 (moderate)	15 (High)	Hampir pasti terjadi karena suku cadang tidak tersedia; bisa berujung pada kerusakan lebih besar
4.	Tidak ada kontrol prosedur rekondisi	4 (likely)	5 (catastrophic)	20 (extreme)	Bisa terjadi dan dapat berujung pada kerusakan fatal karena pengawasan lemah
5.	Tekanan operasional tinggi	4 (likely)	3 (moderate)	12 (medium)	Kemungkinan tinggi dan berdampak pada kualitas hasil kinerja teknisi
6.	Test kebocoran tidak sesuai	2 (unlikely)	5 (catastrophic)	10 (high)	Jarang terjadi tetapi ketika terjadi menyebabkan kerusakan besar akibat <i>cylinder head</i> yang bocor terlewat

Berdasarkan tabel 4.8 Hasil Akhir perhitungan *Matrix Risk Diagram* diatas menunjukan bahwa potensi risiko tertinggi yang termasuk dalam kategori "*extreme*" adalah:

1. Retaknya *cylinder head* (nilai risiko 20) yang memiliki tingkat keseringan sangat tinggi (almost certain) dan dampak besar (*major*) sehingga sering menyebabkan gangguan signifikan terhadap operasi *main engine*.
2. Tidak adanya kontrol terhadap prosedur rekondisi (nilai risiko 20) yang dapat menyebabkan kerusakan fatal akibat lemahnya pengawasan.

Selain itu, terdapat risiko lain yang juga cukup signifikan, yakni:

1. Penggunaan komponen melebihi usia (nilai risiko 15 – high), yang hampir pasti terjadi akibat keterbatasan suku cadang.
2. Tekanan operasional tinggi (nilai risiko 12 – medium), yang berisiko menurunkan kualitas kerja teknis.
3. Test kebocoran tidak sesuai (nilai risiko 10 – high) dan Loctite tidak kering sempurna (nilai risiko 9 – medium) yang meskipun jarang terjadi, namun dapat menyebabkan kerusakan serius jika tidak diantisipasi.

Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa aspek perawatan, pengawasan prosedur, serta pemakaian komponen yang tepat waktu menjadi faktor kritis dalam mencegah kerusakan pada *cylinder head* dan menjaga keandalan mesin induk kapal

4.11 Analisis Biaya *Maintenance cylinder head*

Tabel 4. 13 Analisis Perbandingan biaya

No.	skenario	jumlah	Waktu (bulan)	Keruskaan berulang	Biaya per unit	Total Biaya	Keterangan
1.	Perbaikan (Kondisi Existing)	1 Unit	6	3	Rp93.747.000	Rp281.241.000	Kondisi saat ini dalam kurun waktu 6 bulan dilaksanakan 3 kali perbaikan dengan unit cylinder head yang sama
					Rp93.747.000		Kondisi ideal jika pelaksanaan

2.	Perbaikan (Kondisi Ideal)	1 Unit	6	1		Rp93.747.000	perbaikan <i>cylinder head</i> dilaksanakan secara maksimal dan standart sesuai dengan prosedur perbaikan maka tidak terjadi kerusakan berulang dalam kurun waktu 6 bulan
3.	Pergantian unit baru	1 Unit	-	0	$\text{€}58.000 \times \text{Rp}17.000 =$ $\text{Rp}986.000.000$	Rp986.000.000	Harga <i>cylinder head</i> baru

Tabel 4.14 Efisiensi biaya berdasarkan Skenario per-unit

No.	Perbandingan	Seisih biaya	Keterangan
1.	Skenario 1 dan skenario 2	Rp187.494.000	Dalam kurun waktu 6 bulan efisiensi antara skenario 1 dan 2
2.	Skenario 1 dan skenario 3	Rp704.759.000	Dalam kurun waktu 6 bulan efisiensi antara skenario 1 dan 3
3.	Skenario 2 dan Skenario 3	Rp892.253.000	Dalam kurun waktu 6 bulan efisiensi antara skenario 2 dan 3

Berdasarkan data yang diperoleh dari dokumen Kerangka Acuan Kerja (Terdapat pada Lampiran 9 Biaya anggaran perbaikan *cylinder head* 6 M 43 C (Sumber: PT. Peln Persero)) estimasi biaya rekondisi untuk satu unit *cylinder head* mencapai Rp93.747.000,- (belum termasuk PPN). Biaya ini terdiri dari jasa perbaikan seperti *service Cylinder Head Standart Work* dan *Cylinder Head Additional Work* sebesar Rp 33.500.000,-, serta pengadaan suku cadang pendukung yang mencapai Rp60.247.000. Jika satu unit mengalami tiga siklus rekondisi dengan biaya yang sama, maka total biaya perbaikan untuk satu unit dapat mencapai Rp281.241.000,-. Jumlah ini belum termasuk biaya tidak langsung yang signifikan seperti downtime operasional kapal, pembatalan jadwal pelayaran, kehilangan pendapatan penumpang dan muatan, peningkatan konsumsi bahan bakar akibat performa mesin yang menurun, kompensasi kepada pelanggan, serta lembur teknisi dan biaya logistik tambahan. Sebagai alternatif, perusahaan dapat mempertimbangkan penggantian *cylinder head* dengan unit baru. Berdasarkan harga pasar, satu unit baru diperkirakan mencapai €58.000, atau sekitar Rp986.000.000 dengan asumsi kurs Rp17.000 per Euro. Walaupun lebih mahal dari satu kali rekondisi, opsi ini menawarkan umur pakai lebih panjang dan tingkat keandalan yang lebih tinggi, sehingga risiko kerusakan berulang dapat ditekan secara drastis. Namun demikian, apabila proses rekondisi dilakukan secara benar sesuai standar teknis, Maka hasil perbaikannya dapat bertahan lebih lama (≥ 6 bulan) tanpa menimbulkan kerusakan ulang. Dalam skenario ideal tersebut, biaya perbaikan tetap hanya Rp 93.747.000,-, yang berarti perusahaan berpotensi menghemat hingga Rp187.494.000,- dibanding skenario kerusakan berulang, dan hingga Rp892.253.000,- dibandingkan dengan penggantian unit baru. Untuk menindaklanjuti temuan ini, telah dilakukan analisis menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dengan pendekatan 5 *Whys* dan diagram *Fishbone*, guna mengidentifikasi penyebab mendasar dari kerusakan berulang tersebut. Hasil analisis RCA menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan terletak pada prosedur rekondisi yang tidak sesuai standar, minimnya pengujian teknis pasca rekondisi, serta kurangnya pengawasan kualitas kerja dan dokumentasi teknis.

Dengan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode RCA tidak hanya membantu mengungkap akar penyebab teknis secara sistematis, tetapi juga

memberikan solusi perbaikan yang lebih efisien dari sisi biaya dan keberlanjutan operasional. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan untuk berpindah dari pola perawatan reaktif menuju sistem yang lebih preventif dan prediktif. Dengan memperbaiki prosedur teknis, memperketat pengawasan mutu, serta meningkatkan kompetensi teknisi melalui pelatihan dan standarisasi, perusahaan dapat mengoptimalkan keandalan sistem mesin induk kapal, memperpanjang umur pakai komponen penting, serta mengurangi downtime dan potensi kerugian finansial secara signifikan.

Dengan demikian, metode RCA dalam konteks ini terbukti bukan hanya sebagai alat analisis kegagalan, tetapi juga sebagai pendorong efisiensi, kualitas rekondisi yang lebih baik, dan keberlanjutan operasional jangka panjang bagi perusahaan.