

TUGAS AKHIR

ANALISA PENYEBAB KEBOCORAN *SEATING CYLINDER HEAD* KAPAL THUG BOAT MARTHA INDAH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara*

Disusun oleh :

KEVIN YUDHA PRATAMA
2207230032



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Kevin Yudha Pratama

NPM : 2207230032

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head* Kapal
Thug Boat Martha Indah

Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan dinyatakan dapat dilanjutkan untuk mengikuti seminar hasil penelitian tugas akhir pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 5 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I



Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T.,
M.T.

Dosen Penguji II



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Chandra A Siregar, S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Mesin,



Chandra A Siregar, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kevin Yudha Pratama
Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 11 Desember 2004
NPM : 2207230032
Bidang Keahlian : Konstruksi Manufaktur
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(Umsu)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head* Kapal *Thug Boat* Martha Indah”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan orang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 5 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,

Kevin Yudha Pratama
2207230032

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kebocoran pada *seating Cylinder Head* mesin induk Kapal Tug Boat Martha Indah. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis melalui *inspeksi visual*, pengukuran *Valve Seat*, pengujian *test pressure*, dan pengujian kebocoran menggunakan solar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran *Valve Seat* masih berada dalam batas *allowable limit* yaitu 71,10–71,40 mm dengan hasil pengukuran 71,18–71,38 mm sehingga masih layak digunakan. Hasil *Test Pressure* menunjukkan adanya kebocoran pada *Valve Seat* yang disebabkan oleh keausan pada bidang kontak (*seating surface*), penggunaan komponen yang telah melebihi *running hours*, penurunan kualitas pelumas (*Adhesive Wear*), serta meningkatnya temperatur kerja mesin. Penanganan dilakukan melalui proses *lapping* dan penggantian *Valve Seat* yang mengalami keausan sehingga kualitas bidang kontak kembali sesuai dengan spesifikasi dan kebocoran dapat diatasi.. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kebocoran *Valve Seat* dipengaruhi oleh kombinasi faktor mekanis, termal, dan pemeliharaan. Pelaksanaan *preventive maintenance* sesuai *running hours*, pemeriksaan dimensi secara berkala, pengujian kebocoran, serta pemeliharaan sistem pelumasan dan sistem pendingin secara optimal merupakan langkah yang diperlukan untuk menjaga keandalan *Cylinder Head* serta meningkatkan efisiensi dan umur pakai mesin diesel kapal.

Kata Kunci: *Cylinder Head, Valve Seat, Kebocoran, Adhesive Wear, test pressure, preventive maintenance, Mesin Diesel Kapal, Running Hours.*

ABSTRACT

This study aims to analyze the causes of leakage in the Cylinder Head seating of the main engine of Tug Boat Martha Indah. The research employed an analytical method through visual inspection, Valve Seat dimensional measurements, pressure testing, and leakage testing using diesel fuel. The results showed that the Valve Seat dimensions were still within the allowable limit of 71.10–71.40 mm, with measured values ranging from 71.18 mm to 71.38 mm, indicating that the component was still suitable for use. However, the pressure test revealed leakage at the Valve Seat, which was caused by wear on the seating surface, components that had exceeded their recommended running hours, deterioration of lubricant quality resulting in adhesive wear, and increased engine operating temperature. Corrective actions were carried out through the lapping process and replacement of the worn Valve Seat, thereby restoring the contact surface to the manufacturer's specifications and eliminating the leakage. Based on the findings, it can be concluded that Valve Seat leakage is influenced by a combination of mechanical, thermal, and maintenance-related factors. The implementation of preventive maintenance in accordance with the recommended running hours, periodic dimensional inspections, routine leakage testing, and proper maintenance of the lubrication and cooling systems are essential to maintain the reliability of the Cylinder Head and improve the efficiency as well as the service life of marine diesel engines.

Keywords: : Cylinder Head, Valve Seat, leakage,, Adhesive Wear, test pressure, preventive maintenance, marine diesel engine, Running Hours.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang segala puji dan Syukur penulis mengucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul “Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head* Kapal Thug Boat Martha Indah”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing sekaligus Ketua Program Studi Teknik Mesin yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Affandi, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Kedua orang tua tercinta penulis yaitu Ayahanda Sri Mulyanto dan Ibunda Saidah S.sos yang telah mengasuh, mendidik, serta senantiasa memberikan kasih sayang, do'a yang tulus dan dukungan moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Merry Angelyka, S.T. Terima kasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan hidup penulis menyusun skripsi. Berkontribusi baik tenaga, waktu, menemani, mendukung, serta menghibur penulis dalam kesedihan, mendengarkan keluh kesah dan meyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan skripsi ini terselesaikan.

7. Rekan-rekan seperjuangan, Muhammad Arif Suta, Muhammad Ferdiansyah, Ezra Tri Wira Pranata, Dito Irfansyah Syahrul Prayoga, Dwi Ricky Ardana, Ryszki Yunda Pratama.
8. Rekan – rekan seperjuangan kelas A1 Pagi Stambuk 2022, serta rekan – rekan bidang keahlian konversi manufaktur yang telah banyak memberi saran dan dukungan kepada penulis.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis dengan senang hati dan penuh lapang dada menerima kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 5 Agustus 2026
Penulis



Kevin Yudha Pratama

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN.	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang lingkup	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian <i>Cylinder Head</i>	5
2.1.1 Prinsip kerja <i>Cylinder Head</i>	8
2.1.2 Komponen <i>Cylinder Head</i>	10
2.2 <i>Valve Seat</i>	17
2.2.1 Material <i>Valve Seat</i>	18
2.2.2 Kerusakan <i>Valve Seat</i>	20
2.3 Keausan <i>Valve Seat</i>	22
2.4 Pelumasan <i>Cylinder Head</i>	25
2.5 Sistem Pendingin Yang Digunakan Dalam <i>Cylinder Head</i>	28
2.6 Konstruksi <i>Valve Seat</i>	32
BAB 3 METODE PENELITIAN	36
3.1 Tempat dan Waktu	36
3.1.1 Tempat Penelitian	36
3.1.2 Waktu Penelitian	36
3.2 Bahan & Alat	36
3.2.1 Bahan Penelitian	37
3.2.2 Alat Penelitian	37
3.3 Bagan Alir Penelitian	42
3.4 Rancangan Alat Penelitian	43
3.5 Prosedur Penelitian	43
3.6 Proses Pembongkaran <i>Cylinder Head</i>	44
3.7 Variabel	45
3.8 Pengumpulan Data	45
3.9 Pengolahan Data	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Hasil Penelitian	46

4.1.1. Melakukan <i>Cleaning</i> sisa gasket yang menempel	46
4.2. Melakukan Pengukuran Pada <i>Valve Seat</i>	47
4.2.1 Hasil Pengukuran <i>Valve Seat Cylinder Head</i>	50
4.2.2 Diagram Hasil Analisa	52
4.3 Melakukan pengujian test press	52
4.3.1 Melakukan pengecekan kebocoran menggunakan solar	53
4.4 Analisis Penyebab Kebocoran <i>Valve Seat</i>	54
4.5 Penanganan kebocoran <i>Valve Seat</i>	56
 BAB 5 PENUTUP.	 59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
 DAFTAR PUSTAKA.	 66
Lampiran 1. Lembar Asistensi	
Lampiran 2. Sk Pembimbing	
Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Cylinder Head</i> pada kapal thug boat Martha Indah.	5
Gambar 2. 2 Prinsip kerja <i>Cylinder Head</i>	9
Gambar 2. 3 <i>Spindle Valve</i>	10
Gambar 2. 4 <i>Spring Valve</i>	11
Gambar 2. 5 <i>Guide Valve</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Valve Cotter</i>	13
Gambar 2. 7 <i>Push Rod</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Rocker Arm</i>	14
Gambar 2. 9 <i>Gasket</i>	15
Gambar 2. 10 <i>Head Cover</i>	15
Gambar 2. 11 <i>O-Ring</i>	16
Gambar 2. 12 <i>Valve Seat</i>	18
Gambar 2. 13 Keausan <i>Valve Seat</i>	23
Gambar 2. 14 Konstruksi <i>Valve Seat</i>	32
Gambar 3. 1 <i>Cylinder Head</i> pada kapal thug boat Martha Indah.	38
Gambar 3. 2 <i>Special Tools</i>	39
Gambar 3. 3 Kunci Torsi	40
Gambar 3. 4 <i>Valve Seat</i>	41
Gambar 3. 5 <i>Test Pressure</i>	41
Gambar 3. 6 Rancangan Alat Penelitian	43
Gambar 3. 7 Tes Kebocoran <i>Valve Seat</i> Memakai Solar	43
Gambar 4. 1 <i>Cleaning Cylinder Head</i> dari sisa gasket yang menempel	46
Gambar 4. 2 Pengukuran <i>Valve Seat</i> bagian <i>intake</i> diameter luar	47
Gambar 4. 3 Pengukuran <i>Valve Seat intake</i> diameter luar	47
Gambar 4. 4 Pengukuran <i>Valve Seat intake</i> diameter dalam	48
Gambar 4. 5 Pengukuran <i>Valve Seat intake</i> diameter dalam	48
Gambar 4. 6 Pengukuran <i>Valve Seat exhaust</i> diameter luar	48
Gambar 4. 7 Pengukuran <i>Valve Seat exhaust</i> diameter luar	49
Gambar 4. 8 Pengukuran <i>Valve Seat exhaust</i> diameter dalam	49
Gambar 4. 9 Pengukuran <i>Valve Seat exhaust</i> diameter dalam	49
Gambar 4.10 Gambar Diagram Hasil Analisa	52
Gambar 4. 11 Melakukan pengujian <i>test press</i>	53
Gambar 4. 12 Melakukan pengecekan kebocoran menggunakan solar	53
Gambar 4. 13 Penanganan kebocoran <i>Valve Seat</i> menggunakan metode <i>Valveseat</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	36
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> I	50
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> II	50
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> III	50
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> IV	51
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> V	51
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran <i>Clearance Valve Seat</i> VI	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Permesinan kapal merupakan sekumpulan sistem mekanik yang terdiri atas mesin induk (*main engine*), mesin bantu (*auxiliary engine*), sistem pelumasan, sistem pendingin, sistem bahan bakar, sistem udara tekan, serta berbagai peralatan pendukung lainnya. Seluruh sistem tersebut memiliki fungsi yang saling berkaitan sehingga gangguan pada salah satu komponen dapat memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, kondisi teknis setiap komponen permesinan harus selalu berada dalam keadaan optimal melalui pengoperasian yang sesuai prosedur dan pelaksanaan perawatan secara berkala.

Salah satu komponen yang memiliki peranan penting dalam sistem pembakaran mesin diesel adalah *Cylinder Head*. Komponen ini berfungsi sebagai penutup ruang bakar, tempat terpasangnya *Valve Seat*, *Valve guide*, *injector*, serta saluran pendingin dan pelumasan. *Cylinder Head* harus mampu menahan tekanan pembakaran yang tinggi, temperatur ekstrem, serta beban mekanis yang berlangsung secara berulang selama mesin beroperasi. Selain itu, *Valve Seat* sebagai bagian dari *Cylinder Head* berfungsi sebagai bidang kontak antara katup dan kepala silinder untuk menghasilkan penyekatan (*sealing*) yang sempurna pada ruang bakar. Apabila terjadi kerusakan atau kebocoran pada *Valve Seat*, maka tekanan kompresi akan menurun sehingga proses pembakaran menjadi tidak sempurna dan berdampak pada penurunan efisiensi serta performa mesin diesel.

Exhaust Valve adalah komponen mesin yang memiliki fungsi sebagai media keluarnya gas buang sisa pembakaran bahan bakar atau *exhaust* gas yang diteruskan menu cerobong atau ke *exhaust* gas economiser. Daya gerak kapal yang dihasilkan mesin induk yang dimanfaatkan menjadi tenaga mekanis/putar dan dihubungkan pada propeller kapal sehingga perpindahan kapal yang diakibatkan dari dorongan propeller kapal tersebut. (Cerdoun et al,2020).

Dalam sistem katup mesin diesel, *Valve Seat* merupakan salah satu komponen yang memiliki fungsi strategis karena menjadi bidang kontak antara katup (*Valve*) dengan *Cylinder Head*. Selain berfungsi sebagai media penyekatan (*sealing*), *Valve Seat* juga menjadi jalur utama perpindahan panas dari katup menuju *Cylinder Head*.

Proses perpindahan panas tersebut sangat penting untuk menjaga temperatur kerja katup, khususnya *exhaust Valve* , agar tetap berada dalam batas aman. Apabila kemampuan perpindahan panas menurun akibat kerusakan pada *Valve Seat*, temperatur katup akan meningkat sehingga risiko terjadinya deformasi, retak termal, maupun kegagalan komponen menjadi semakin besar. Oleh sebab itu, kondisi *Valve Seat* menjadi salah satu faktor yang menentukan keandalan sistem pembakaran pada mesin diesel.

Sebagai komponen utama dalam mesin induk yang harus dijaga performa dan melaksanakan perawatan yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Karena *seating exhaust Valve* dan *spindle exhaust Valve* komponen yang selalu bersentuhan, membuat kedua komponen ini memerlukan perawatan dan perhatian yang lebih agar dapat menunjang proses kerja mesin induk . (Wahyu Kiki Nurhidayat, dkk, 2024).

Selain dipengaruhi oleh kondisi operasi, kerusakan *Valve Seat* juga dipengaruhi oleh kualitas pelumasan, efektivitas sistem pendingin, kualitas bahan bakar, ketepatan penyetelan celah katup, serta penerapan program pemeliharaan. Oli pelumas yang telah mengalami degradasi tidak mampu membentuk lapisan pelindung secara optimal sehingga mempercepat keausan pada mekanisme katup. Demikian pula sistem pendingin yang tidak bekerja secara efektif akan menyebabkan kenaikan temperatur pada *Cylinder Head* dan *Valve Seat*, sehingga sifat mekanik material menurun dan risiko deformasi termal meningkat. Oleh karena itu, pelaksanaan pemeliharaan preventif berdasarkan *running hours* dan kondisi aktual komponen menjadi langkah yang sangat penting untuk menjaga keandalan mesin diesel kapal.

Faktor penyebab kerusakan seating dan *spindle exhaust Valve* terdapat berbagai indikasi yaitu faktor pemeliharaan atau PMS yang kurang baik, sparepart yang tidak orisinal, pemakaian seating melebihi running hour, faktor udara kamar mesin, serta kesalahan dalam pemasangan dan upaya perawatan yang dilakukan pada seating dan *spindle exhaust Valve* yaitu melaksanakan PMS yang sesuai pada manual *book*, menggunakan *sparepart* yang orisinal, *check running hours*, pemasangan filter udara kamar mesin serta komunikasi antar masinis agar tidak

terjadi kesalahan dalam pemasangan komponen *exhaust Valve* . (Wahyu, dkk , 2024).

Mesin dengan riwayat kegagalan katup dan perbaikan besar mungkin memiliki nilai residu (*resale*) yang lebih rendah. Selain itu, jika kerusakan *Valve Seat* sering terjadi, perusahaan mungkin harus mempertimbangkan penggantian mesin lebih cepat dari yang direncanakan (*scrapping*) untuk menghindari perawatan yang terus-menerus mahal. Intervensi ini bisa berupa perbaikan dudukan katup (*resurfacing seat*), penggantian katup, atau bahkan *overhaul Cylinder Head*. Semua ini memerlukan waktu henti (*downtime*) mesin, suku cadang, tenaga kerja teknis, serta biaya tambahan seperti bongkar pasang mesin. (Wahyu, dkk , 2024).

Dalam industri perkapalan, kegagalan pada *Valve Seat* tidak hanya berdampak terhadap aspek teknis, tetapi juga berpengaruh pada aspek operasional dan ekonomi. Kebocoran pada *Cylinder Head* dapat menyebabkan mesin kehilangan daya, meningkatkan konsumsi bahan bakar, memperpanjang waktu perbaikan (*downtime*), serta menambah biaya pemeliharaan akibat kebutuhan *overhaul* maupun penggantian komponen. Kondisi tersebut dapat mengganggu jadwal operasional kapal dan menurunkan tingkat keandalan armada. Oleh karena itu, identifikasi penyebab kebocoran *Valve Seat* melalui inspeksi visual, pengukuran dimensi, dan pengujian kebocoran menjadi langkah yang penting untuk menentukan metode perbaikan yang tepat serta mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius.

Oleh karena itu, Pada penelitian ini terdeteksi tentang efektifitas *running hours* yang melebihi kapasitas maksimum. Dimana terdapat kebocoran pada seating yang mengakibatkan turunnya performa *main engine*. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian terinspirasi untuk melaksanakan penelitian dengan mengangkat judul “Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head* Kapal Thug Boat Martha Indah”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis jenis kerusakan pada *seating Cylinder Head*?
2. Apa saja faktor-faktor penyebab terjadinya kebocoran pada *seating Cylinder Head* mesin diesel kapal?
3. Bagaimana melakukan pengukuran pada *Valve Seat*?

1.3 Ruang lingkup

1. Pembahasan efektivitas *running hours* yang melebihi kapasitas maksimum dilakukan pada *engine* PT. Waruna Shipyard Indonesia.
2. Metode yang digunakan adalah metode analisis .
3. Penelitian meliputi proses pembongkaran (*disassembly*), pembersihan (*Cleaning*), inspeksi visual, pengukuran dimensi *Valve Seat*, pengujian menggunakan *test pressure*, serta pengujian kebocoran menggunakan media solar.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Melakukan proses pengukuran diameter *Valve Seat*. untuk mengetahui nilai standard.
2. Melakukan pengujian test kebocoran dan penanganan pada *Valve Seat*.
3. Mengidentifikasi penyebab utama kebocoran berdasarkan kondisi teknis mesin dan komponen pendukungnya.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan tambahan pengetahuan dan wawasan ilmiah mengenai mekanisme kebocoran pada *seating Cylinder Head* mesin diesel kapal, terutama yang berkaitan dengan proses pembakaran dan performa mesin.
2. Menjadi acuan bagi teknisi dan operator mesin kapal dalam melakukan inspeksi, perawatan, serta pencegahan dini terhadap potensi kebocoran komponen *Cylinder Head*.
3. Membantu perusahaan dalam meningkatkan efisiensi operasional mesin diesel kapal melalui penerapan metode analisis yang tepat terhadap sistem katup dan *Cylinder Head*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Cylinder Head*

Cylinder Head merupakan komponen struktural yang dipasang di bagian atas blok silinder mesin pembakaran dalam, berfungsi sebagai penutup ruang silinder, menampung ruang bakar, dan menjadiudukan berbagai komponen seperti katup masuk dan buang, busi ataupun injektor serta saluran pendingin dan pelumasan. Komponen ini harus mampu menahan tekanan tinggi serta suhu yang sangat tinggi akibat proses pembakaran dan sekaligus memastikan pembuangan gas sisa dan aliran udara-bahan bakar yang efisien; desain geometrik, material, dan analisis termomekanik dari *Cylinder Head* sangat menentukan performa mesin dan daya tahan strukturalnya. (Shamsudeen, dkk, 2022).



Gambar 2. 1 *Cylinder Head* pada kapal *thug boat* Martha Indah.

Cylinder Head tidak hanya berfungsi sebagai penutup ruang bakar, tetapi juga sebagai tempat pemasangan berbagai komponen penting yang mendukung proses kerja mesin diesel. Komponen-komponen tersebut meliputi *intake Valve*, *exhaust Valve*, *Valve Seat*, *Valve guide*, *fuel injector*, saluran udara masuk (*intake port*), saluran gas buang (*exhaust port*), ruang pendingin (*water jacket*), serta saluran pelumasan. Seluruh komponen tersebut bekerja secara terpadu untuk mengatur proses pemasukan udara, penyemprotan bahan bakar, pembakaran, pembuangan gas hasil pembakaran, serta pengendalian temperatur kerja mesin. Dengan demikian, *Cylinder Head* berfungsi sebagai pusat integrasi berbagai subsistem yang berperan dalam menjaga keberlangsungan siklus kerja mesin diesel.

Selama proses pembakaran berlangsung, *Cylinder Head* menerima beban mekanis berupa tekanan gas hasil pembakaran yang dapat mencapai puluhan hingga ratusan bar, bergantung pada tipe dan kapasitas mesin. Selain itu, komponen ini juga menerima beban termal akibat temperatur gas pembakaran yang dapat melebihi 700 °C pada area sekitar *exhaust Valve*. Kombinasi beban mekanis dan termal tersebut menyebabkan *Cylinder Head* mengalami siklus pembebanan (*cyclic loading*) secara terus-menerus selama mesin beroperasi. Oleh karena itu, desain konstruksi *Cylinder Head* harus mempertimbangkan distribusi tegangan (*stress distribution*), kemampuan perpindahan panas, serta ketahanan terhadap deformasi untuk mencegah terjadinya retak, perubahan bentuk, maupun kegagalan struktur.

Salah satu fungsi utama *Cylinder Head* adalah mempertahankan tekanan kompresi di dalam ruang bakar melalui sistem penyekatan (*sealing system*) yang dibentuk oleh *Valve*, *Valve Seat*, gasket *Cylinder Head*, dan permukaan kontak antara *Cylinder Head* dengan blok silinder. Sistem penyekatan yang baik akan mencegah kebocoran gas selama proses kompresi maupun pembakaran sehingga tekanan di dalam ruang bakar tetap optimal. Sebaliknya, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen penyekat, seperti keausan *Valve Seat*, kerusakan gasket, atau deformasi permukaan *Cylinder Head*, maka akan terjadi penurunan tekanan kompresi yang

berdampak pada menurunnya efisiensi pembakaran, berkurangnya daya mesin, serta meningkatnya konsumsi bahan bakar.

Selain berfungsi sebagai elemen struktural, *Cylinder Head* juga berperan sebagai media perpindahan panas. Panas yang dihasilkan selama proses pembakaran akan diserap oleh material *Cylinder Head* kemudian dipindahkan menuju media pendingin melalui saluran *water jacket*. Mekanisme perpindahan panas ini sangat penting untuk menjaga temperatur operasi komponen agar tidak mengalami *overheating*. Temperatur kerja yang stabil akan mempertahankan sifat mekanik material, mengurangi tegangan termal, serta mencegah terjadinya pemuaian yang berlebihan pada *Valve*, *Valve Seat*, dan komponen lainnya. Dengan demikian, sistem pendinginan yang bekerja secara optimal menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan *Cylinder Head*.

Desain geometris dan pemilihan material untuk *Cylinder Head* sangat mempengaruhi performa termal dan struktural mesin. Misalnya, ketebalan dinding, konfigurasi jaket pendingin, bentuk saluran buang dan masuk, serta sifat termal material (konduktivitas, koefisien ekspansi, modulus elastisitas) merupakan variabel yang harus dioptimalkan. Sebagai contoh, analisis elemen hingga menunjukkan bahwa modifikasi struktur *Cylinder Head* berbahan aluminium alloy A356-T6 menghasilkan tegangan maksimum yang tetap berada di bawah batas kekuatan yield material sehingga memperbaiki performa struktural. (Shamsudeen et al., 2022)

Distribusi panas dan aliran fluida melalui *cylinder head* baik dari dalam ruang bakar maupun dari sistem pendingin secara signifikan menentukan kecepatan aliran panas, tegangan termal, deformasi, dan pada akhirnya kelelahan termal dari komponen tersebut. Penelitian terbuka (*open access*) menunjukkan bahwa analisis termal dengan metode elemen hingga dapat menentukan titik-titik temperatur maksimum dan *fluks* panas yang kemudian memprediksi lokasi potensial kerusakan atau kegagalan. (Itu et al., 2022)

2.1.1 Prinsip kerja *Cylinder Head*

Pada siklus pembakaran dalam mesin kerja empat langkah, *Cylinder Head* berfungsi sebagai tutup atas ruang silinder serta sebagai dasar struktur untuk katup masuk (*intake*), katup buang (*exhaust*), *injector* atau busi (tergantung tipe mesin), dan saluran pendingin. Ketika piston mencapai titik mati atas (TDC) dalam langkah kompresi, campuran udara-bahan bakar dimampatkan dalam ruang bakar yang tertutup oleh *Cylinder Head*. Ketika percikan api atau injeksi bahan bakar terjadi, tekanan tinggi dan suhu ekstrem terbentuk dalam ruang tersebut *Cylinder Head* harus mempertahankan segel yang rapat terhadap blok silinder untuk mencegah kebocoran gas pembakaran dan memastikan konversi energi termal menjadi kerja mekanik. (Ulian & Donğu, 2021)

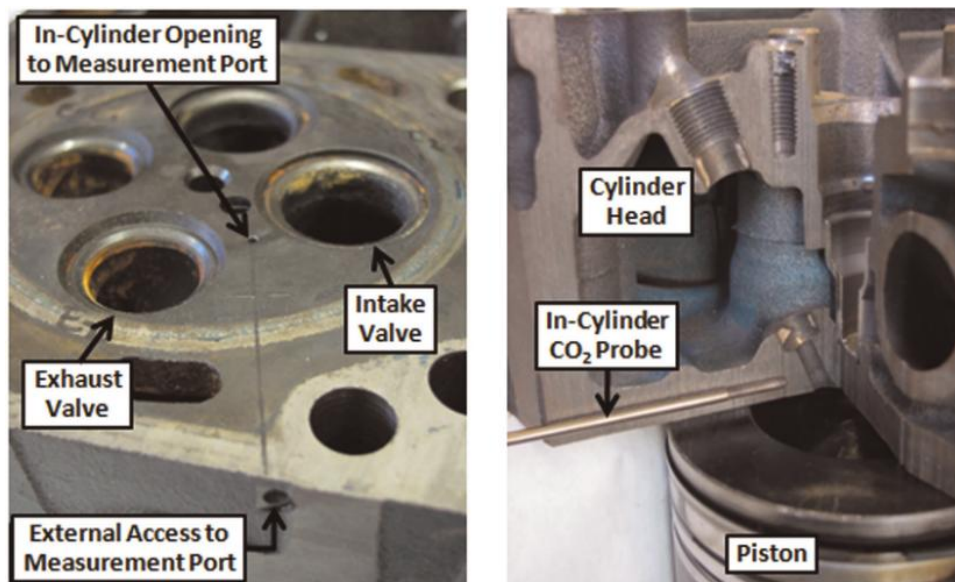
Setelah pembakaran dimulai, terjadi aliran panas dari ruang bakar menuju dinding *Cylinder Head*, dan selanjutnya ke sistem pendingin (*jacket* air atau saluran *coolant*). Dalam melakukan fungsinya, *Cylinder Head* menangani beban termal dan mekanik secara simultan tekanan ledakan, gradien suhu tinggi, dan siklus termomekanik yang berulang. Rancangan geometri head termasuk ketebalan dinding, struktur rib pendingin, dan konfigurasi saluran *coolant* berpengaruh besar terhadap bagaimana panas dilepas dan tegangan internal didistribusikan. Analisis elemen hingga menunjukkan bahwa optimalisasi struktur *Cylinder Head* terhadap kondisi termal dapat menurunkan tegangan maksimum dan memperpanjang umur kelelahan material. (Gong et al., 2023)

Selain itu, *Cylinder Head* juga memfasilitasi aliran udara masuk dan gas buang melalui portkatup yang ditempatkan dalam *head*, serta mendukung mekanisme katup dan *camshaft* yang mengatur waktu buka/tutup katup. Dengan demikian, kerja head tidak hanya sebagai struktur penutup, tetapi juga sebagai elemen aktif dalam manajemen aliran fluida dan termodinamika mesin. Distribusi aliran udara dan gas buang yang baik dalam head akan meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi losses aliran. Struktur *head* yang kurang optimal dapat menimbulkan konsentrasi tegangan lokal di area seperti jembatan katup atau punggung *inlet/exhaust*, yang kemudian memperpendek umur material. (Gai et al., 2022)

Dalam kondisi operasi kapal, mesin diesel umumnya bekerja secara terus-menerus pada beban yang relatif tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan *Cylinder*

Head mengalami siklus pemanasan dan pendinginan secara berulang (*thermal cycling*). Siklus termal yang berlangsung dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan terjadinya tegangan termal (*thermal stress*) yang berpotensi menimbulkan retak mikro, deformasi, maupun perubahan dimensi pada permukaan *Valve Seat*. Apabila perubahan dimensi tersebut melebihi batas toleransi yang ditetapkan oleh pabrikan, maka kemampuan penyegelan antara *Valve* dan *Valve Seat* akan menurun sehingga terjadi kebocoran gas pembakaran.

Kebocoran pada *Valve Seat* tidak hanya dipengaruhi oleh faktor keausan mekanis, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi pembakaran, kualitas pelumas, efektivitas sistem pendingin, kualitas material, ketepatan pemasangan komponen, serta ketidaksesuaian interval pemeliharaan. Oleh karena itu, prinsip kerja *Cylinder Head* harus dipahami secara menyeluruh karena setiap subsistem yang terpasang pada komponen tersebut saling berinteraksi dalam menentukan keberhasilan proses pembakaran. Gangguan pada salah satu subsistem akan memberikan dampak terhadap subsistem lainnya sehingga menurunkan efisiensi dan keandalan mesin secara keseluruhan.



Gambar 2. 2 Prinsip kerja *Cylinder Head* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

2.1.2 Komponen *Cylinder Head*

Adanya komponen turbocharger pada induk kapal mempunyai fungsi dan kegunaannya dalam bergerakanya suatu mesin. Berikut ini adalah komponen komponen *Cylinder Head*.

1. *Spindle Valve*

Spindle Valve adalah jenis katup di mana batang atau *spindle* berfungsi sebagai penggerak utama yang mentransmisikan gerakan aktuator ke elemen penutup katup (*plug/disc*) melalui dudukan katup (*seat*) untuk mengatur pembukaan dan penutupan aliran fluida baik berupa gas, uap, maupun cairan dalam sistem aliran industri atau mesin pembakaran dalam. Desain *spindle Valve* harus mempertimbangkan faktor-material (misalnya *alloy* tahan panas), toleransi gerak batang, segel pada *seat*, serta beban siklik termomekanik dan korosi suhu tinggi yang dialami selama operasi. Misalnya, material *spindle* katup buang untuk mesin laut menggunakan alloy DSA760 untuk menahan korosi suhu tinggi dan siklus beban ekstrem. (Koyanagi & Kawaguchi, 2022)



Gambar 2. 3 *Spindle Valve* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

2. *Spring Valve*

Spring Valve , dalam konteks teknik fluida atau mekanika kontrol aliran, adalah sebuah katup yang menggunakan pegas sebagai elemen penahan atau pengembali untuk menjaga posisinya (termasuk tertutup atau semi-terbuka) hingga gaya eksternal seperti tekanan fluida, beban aktuasi, atau perubahan aliran melewati nilai ambang tertentu saat gaya eksternal tersebut mengatasi kekakuan pegas, katup akan berpindah ke posisi membuka atau mengalir, dan setelah gaya eksternal berkurang pegas akan memulihkan katup ke posisi awal, sehingga memungkinkan respons otomatis dan berulang dalam pengaturan aliran atau penutupan sistem. (Honcu J., 2004)



Gambar 2. 4 *Spring Valve* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

3. *Valve Guide*

Katup pemandu (*guide Valve*) atau lebih tepatnya *Valve Guide* adalah selongsong silindris yang dipasang pada *cylinder head* mesin pembakaran yang berfungsi untuk menjaga presisi dan stabilitas pergerakan batang katup (*Valve stem*) secara aksial, menjamin keselarasan batang katup terhadap dudukan katup (*Valve seat*) serta membantu penghantaran panas dari batang katup menuju *cylinder head* guna mencegah *overheating* dan keausan prematur. Dalam pengoperasian dinamis, clearance antara batang katup dan panduannya harus dikontrol secara ketat agar aspek-pelumasan optimal dan keausan lateral dapat diminimalkan sehingga

efisiensi pembakaran, konsumsi oli, serta emisi dapat ditekan secara signifikan (Holenko et al., 2024).



Gambar 2. 5 *Guide Valve* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

4. *Valve Cotter*

Valve cotter merupakan komponen mekanis kecil berbentuk dua segmen logam berbentuk kerucut terbelah (*split collet*) yang berfungsi sebagai elemen pengunci aksial antara batang katup (*Valve stem*) dan retainer pegas katup (*Valve spring retainer*) pada mesin pembakaran dalam. Komponen ini bekerja dengan cara mengunci retainer pada alur batang katup melalui gaya tekan dari pegas katup, sehingga memastikan posisi pegas dan katup tetap stabil selama siklus buka-tutup katup berlangsung. Dari perspektif rekayasa material dan desain sambungan, *Valve cotter* dirancang dengan toleransi presisi tinggi, kekerasan material yang optimal, serta permukaan halus untuk mencegah keausan prematur akibat beban siklik dan getaran mesin. Kegagalan pada *Valve cotter* dapat menyebabkan lepasnya retainer, jatuhnya katup ke ruang bakar, serta kerusakan serius pada piston dan silinder. Oleh karena itu, kontrol kualitas dalam proses manufaktur *Valve cotter* menjadi aspek penting untuk menjaga keandalan sistem katup dalam industri otomotif (Rosyidi et al., 2025).



Gambar 2. 6 *Valve Cotter* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

5. *Push Rod*

Push Road adalah komponen mekanis dalam sistem katup tipe onggang-onggang (*overhead Valve*) pada mesin pembakaran dalam yang bertindak sebagai penghubung translasi antara poros cam (*camshaft*) atau tappet dan tuas *rocker*, mentransfer gerakan naik-turun cam menjadi gerakan membuka katup push rod harus memiliki kekakuan tinggi terhadap gaya tekan dan *resistance* terhadap buckling serta akurasi panjang yang tepat untuk menjamin keselarasan timing katup dan mencegah “*Valve jump*” pada kecepatan tinggi, sehingga memainkan peran penting dalam dinamika *Valve train*, efisiensi volumetrik, dan keandalan sistem mesin. (Muzakkir, S.M. 2021).



Gambar 2. 7 *Push Rod* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

6. *Rocker Arm*

Rocker Arm merupakan tuas engkol (*lever*) yang berosilasi dan mengubah gerakan radial dari lobe camshaft menjadi gerakan linier pada batang katup (*Valve stem*) satu ujung *rocker arm* menerima gaya dari *lobus cam* atau batang dorong, sedangkan ujung lainnya memindahkan gaya tersebut ke katup, sehingga membuka atau menutup saluran aliran gas, dan desainnya mencakup rasio tuas (*rocker ratio*), material, tumpuan (*pivot*) dan elemen gesek/gelinding untuk meminimalkan inersia dan gesekan pada kecepatan tinggi. (Kirti, R., 2023).



Gambar 2. 8 *Rocker Arm* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

7. *Gasket*

Gasket adalah elemen penyekat tipis yang ditempatkan di antara dua permukaan sambungan, seperti flensa atau tutup mesin, yang berfungsi untuk mengisi kekasaran dan celah permukaan sehingga mencegah kebocoran gas atau cairan, menahan tekanan internal, dan mengakomodasi perbedaan termal serta getaran performa sebuah gasket sangat ditentukan oleh karakteristik materialnya (seperti elastisitas, ketahanan terhadap *creep*, dan kompatibilitas kimia), kondisi sambungan (*preload* baut, kekasaran permukaan), dan faktor operasional (suhu, tekanan, fluida), sehingga desain dan pemilihan material gasket menjadi aspek krusial dalam keandalan sistem penyegelan industri. (I Made G. Karohika, dkk 2020).



Gambar 2. 9 *Gasket* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

8. *Head Cover*

Penutup kepala silinder (*Cylinder Head cover*) adalah komponen yang dipasang di bagian atas *cylinder head* mesin pembakaran dalam dan berfungsi utama sebagai penutup mekanisme seperti batang katup, *rocker arm*, dan saluran ventilasi, sekaligus menyediakan sambungan penyegelan terhadap kebocoran oli dan gas; dari perspektif ilmiah, cover ini harus dirancang dengan mempertimbangkan material, kekakuan struktur, kompatibilitas dengan gasket/segel, dan sistem ventilasi untuk mengontrol retensi oli serta kebocoran *blow-by*, sehingga kinerja, emisi, dan keandalan mesin dapat ditingkatkan (Lee et al., 2007).



Gambar 2. 10 *Head Cover* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

9. O-Ring

O-ring pada dudukan katup merupakan elemen penyekat elastomerik yang dipasang di antara permukaan dudukan katup (*Valve Seat*) dan elemen bergerak katup untuk memastikan kebocoran fluida baik gas maupun cair ke ruang yang tidak diinginkan dapat dihindari. Elemen ini bekerja melalui deformasi elastis dan kompresi dalam alur yang tepat untuk menciptakan gaya kontak antara O-ring dan permukaan logam, sehingga tekanan internal sistem dapat diimbangi oleh gaya pemegangan elastis O-ring serta gaya kontak antara O-ring dan permukaan mating. Desain yang tepat dari profil alur, bahan elastomer, tingkat kompresi dan karakteristik permukaan dudukan katup menjadi sangat penting agar O-ring secara andal menjaga kesegelan dalam kondisi tekanan tinggi, suhu ekstrem atau siklus buka-tutup mekanik kegagalan dalam aspek ini dapat menyebabkan rembesan, aus permukaan atau bahkan kerusakan katup. Sebagai contoh, studi finite element menunjukkan bahwa pemadatan (*compression ratio*) O-ring yang terlalu besar bisa memperpendek usia layanannya pada sistem dudukan ganda (*double seat*) pada katup ultratinggi-tekanan. (Wei Junhui, et al., 2021).



Gambar 2. 11 O-Ring (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

2.2 *Valve Seat*

Valve Seat adalah permukaan konis atau saku yang terdapat pada *Cylinder Head* mesin pembakaran dalam, di mana batang katup (*Valve stem*) menutup saluran aliran gas saat katup berada dalam posisi tertutup, sehingga berfungsi sebagai titik andal penahan tekanan pembakaran dan penghubung termal yang mentransfer panas dari permukaan katup menuju blok silinder, kualitas posisi, kemiringan, dan material dari *Valve Seat* memiliki dampak langsung terhadap kebocoran gas, efisiensi volumetrik mesin, performa termal, serta keausan dan keandalan jangka panjang sistem katup (Crozet et al., 2021).

Selama proses pembakaran berlangsung, *Valve* akan menekan permukaan *Valve Seat* setiap kali katup menutup. Kontak yang terjadi secara berulang tersebut menghasilkan tekanan kontak yang tinggi disertai temperatur yang terus berubah mengikuti siklus pembakaran mesin. Berbeda dengan komponen lain yang memperoleh pelumasan secara langsung, daerah kontak antara *Valve* dan *Valve Seat* hanya memperoleh pelumasan yang sangat terbatas sehingga lebih rentan mengalami keausan. Kondisi tersebut menyebabkan *Valve Seat* menjadi salah satu komponen yang paling sering mengalami penurunan kualitas permukaan apabila mesin dioperasikan dalam jangka waktu yang lama tanpa perawatan yang memadai.

Kondisi permukaan *Valve Seat* yang mulai mengalami keausan akan menyebabkan bidang kontak antara *Valve* dan *Valve Seat* tidak lagi merata. Ketidakrataan tersebut mengakibatkan terbentuknya celah kecil yang memungkinkan gas hasil pembakaran bocor keluar dari ruang bakar. Kebocoran ini akan menurunkan tekanan kompresi sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna, tenaga mesin menurun, konsumsi bahan bakar meningkat, serta temperatur gas buang menjadi lebih tinggi. Apabila kondisi tersebut terus dibiarkan, maka kerusakan dapat berkembang menjadi deformasi permukaan, retak termal, bahkan kerusakan pada katup maupun *Cylinder Head*.

Selain dipengaruhi oleh umur operasi, kerusakan *Valve Seat* juga dipengaruhi oleh kualitas pelumasan, sistem pendingin, kualitas bahan bakar, kondisi penyetelan katup, serta beban operasi mesin. Pelumas yang telah mengalami degradasi atau terkontaminasi partikel logam dapat mempercepat keausan permukaan *Valve Seat*. Demikian pula sistem pendingin yang tidak bekerja secara optimal akan

meningkatkan temperatur kerja sehingga memperbesar tegangan termal pada material *Valve Seat*. Getaran mesin yang berlebihan dan ketidaksejajaran (misalignment) antara *Valve* dengan *Valve Seat* juga dapat menyebabkan distribusi beban kontak menjadi tidak merata sehingga mempercepat terjadinya keausan lokal.

Dari sudut pandang mekanika sambungan dan keandalan komponen, dudukan katup harus menahan beban termal, mekanik, dan siklik termasuk tekanan pembakaran yang sangat tinggi, kejutan termal akibat buka-tutup katup dan aliran panas, serta gesekan antara katup dan dudukan ketika kontak berlangsung atau lepas. Studi eksperimen menunjukkan bahwa kontak antara katup dan dudukan katup adalah salah satu dari sedikit kontak di mesin pembakaran dalam yang tidak dilumasi, sehingga rentan terhadap keausan dan kerusakan permukaan seperti pengikisan atau pencabutan material (material pull-out) akibat siklus pembakaran berulang. (Crozet, et al., 2021).



Gambar 2. 12 *Valve Seat* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

2.2.1 Material *Valve Seat*

Pada sistem mesin pembakaran dalam, pemilihan material dudukan katup (*Valve Seat*) sangat menentukan umur layan dan keandalan sealing antara katup dan dudukan. Material dudukan biasanya berupa paduan ferrous (besi) atau baja paduan dengan kandungan karbida dan unsur keras lainnya, yang difabrikasi

melalui proses seperti sintering atau infiltrasi tembaga untuk meningkatkan konduktivitas panas dan ketahanan aus. Sebagai contoh, penelitian oleh *High Performance Valve Seat Materials for CNG Powered Combustion Engines* menunjukkan bahwa material roda-kursi yang berbahan dasar high-speed steel (HSS) yang diinfiltrasi paduan tembaga-nikel memiliki kandungan karbida MC/M₆C hingga ~16 vol.% dan memberikan keausan sangat rendah dalam pengujian mesin 100 jam untuk aplikasi CNG.

Material-material tersebut dirancang untuk menahan kondisi ekstrem: suhu tinggi (sering >900 °C dalam gas alam CNG), beban termal-mekanik tinggi dan kontak tidak dilumasi antara batang katup dan dudukan. Komposisi seperti HSS plus infiltrasi tembaga memungkinkan kombinasi kekerasan permukaan dan konduktivitas termal yang cukup tinggi untuk meredam panas dan memperlambat timbulnya keausan atau kerusakan termal. (Długołęcki, P., et al., 2021).

Selain memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, material *Valve Seat* juga harus memiliki sifat mekanik dan termal yang mampu mempertahankan kestabilan dimensi selama beroperasi pada kondisi temperatur dan tekanan yang ekstrem. Selama proses pembakaran berlangsung, *Valve Seat* mengalami siklus pembebanan termal dan mekanis secara terus-menerus akibat kontak langsung dengan *Valve* serta paparan gas hasil pembakaran yang bersuhu tinggi. Oleh karena itu, material yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap deformasi plastis, kelelahan termal (*thermal fatigue*), oksidasi, dan korosi agar tidak mengalami perubahan bentuk maupun penurunan kualitas permukaan yang dapat menyebabkan kebocoran pada ruang bakar.

Selain sifat mekanik, karakteristik mikrostruktur material juga berpengaruh terhadap umur pakai *Valve Seat*. Distribusi karbida yang merata, ukuran butir yang halus, serta ikatan metalurgi yang baik mampu meningkatkan ketahanan terhadap keausan adhesif maupun abrasif. Material dengan konduktivitas termal yang tinggi juga memungkinkan proses perpindahan panas dari *Valve* menuju *Cylinder Head* berlangsung lebih efektif sehingga temperatur kerja katup dapat dikendalikan. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi pembakaran, tetapi juga mengurangi potensi terbentuknya retak termal (*thermal cracking*) dan deformasi

pada permukaan dudukan katup selama mesin beroperasi dalam jangka waktu yang panjang.

2.2.2 Kerusakan *Valve Seat*

Kerusakan *Valve Seat* umumnya diawali oleh terbentuknya keausan ringan pada daerah kontak akibat gesekan berulang selama proses buka dan tutup katup. Seiring bertambahnya jam operasi mesin, keausan tersebut berkembang menjadi alur (*grooving*) yang menyebabkan distribusi tekanan kontak tidak lagi merata. Konsentrasi tegangan yang terjadi pada sebagian kecil permukaan mengakibatkan laju keausan meningkat secara progresif. Apabila kondisi tersebut tidak segera ditangani melalui proses *lapping* atau *recutting*, maka permukaan *Valve Seat* akan kehilangan kemampuan penyekatan sehingga terjadi kebocoran gas pembakaran.

Fenomena kerusakan *Valve Seat* juga dipengaruhi oleh mekanisme kelelahan material (*fatigue*). Beban tumbukan yang diterima setiap kali katup menutup menghasilkan tegangan siklik pada lapisan permukaan *Valve Seat*. Tegangan tersebut dapat memicu terbentuknya retakan mikro (*micro-cracks*) yang berkembang secara perlahan akibat siklus pembebanan yang terus berlangsung. Retakan yang semakin besar akan menyebabkan terjadinya *pitting* maupun *spalling*, yaitu terlepasnya sebagian material permukaan sehingga kualitas bidang kontak semakin menurun.

Selain pembebanan mekanis, reaksi kimia yang terjadi selama proses pembakaran juga memberikan kontribusi terhadap kerusakan *Valve Seat*. Gas hasil pembakaran mengandung senyawa sulfur, nitrogen oksida, karbon, serta uap air yang pada temperatur tinggi dapat mempercepat proses oksidasi maupun korosi pada permukaan logam. Korosi yang berlangsung secara terus-menerus menyebabkan permukaan *Valve Seat* menjadi kasar dan kehilangan sebagian sifat mekaniknya. Permukaan yang telah mengalami korosi akan lebih mudah mengalami keausan ketika bersentuhan dengan permukaan katup, sehingga kerusakan berkembang lebih cepat dibandingkan kondisi operasi normal.

Kerusakan dudukan katup juga dipengaruhi oleh faktor geometris dan penyetulan (*fitment*) dudukan terhadap *cylinder head* dan katup itu sendiri. Studi "*Engine Valve Seat and Insert Wear*" mengamati bahwa pada banyak mesin, munculnya *ridges & valleys* melingkar pada dudukan dan *insert* disebabkan oleh

proses gouging atau misalignment antara insert dan *cylinder head*. *Misalignment* ini menyebabkan kontak tidak merata, beban konsentrasi yang tinggi, dan berakibat percepatan keausan atau bahkan pelonggaran insert. Jika pemasangan dudukan katup tidak tepat atau ketegangan tekan-fit (*press fit*) insert melemah, dudukan dapat bergeser atau bahkan terlepas dalam jangka panjang, menimbulkan dampak kerusakan signifikan. (Liang, X., et al., 2021)

Jumlah jam operasi (*running hours*) juga merupakan faktor kritis dalam kerusakan dudukan katup karena akumulasi siklus termal dan mekanik yang terjadi selama masa layanan. Sebuah laporan dari *National Institute of Standards and Technology* (NIST) menyebut bahwa untuk beberapa mesin gas yang ditargetkan bertahan hingga 40.000 jam, keausan dudukan katup tetap menjadi kendala utama karena kondisi suhu tinggi dan kurangnya pelumasan pada area katup-dudukan. Dengan bertambahnya jam operasional, kerusakan kecil pun akan berkembang menjadi kerusakan struktural yang memerlukan perbaikan besar. Oleh karena itu, pemantauan kondisi dudukan katup secara berkala sangat penting dalam strategi pemeliharaan prediktif. National Institute of Standards and Technology (NIST).

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kerusakan *Valve Seat* adalah kualitas sistem injeksi bahan bakar. Injektor yang mengalami penyumbatan atau menghasilkan pola penyemprotan (*spray pattern*) yang tidak sesuai dapat menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan endapan karbon (*carbon deposits*) pada permukaan katup dan *Valve Seat*. Endapan tersebut mengurangi luas bidang kontak efektif sehingga distribusi tekanan menjadi tidak merata. Selain itu, partikel karbon yang terjebak di antara kedua permukaan dapat bertindak sebagai material abrasif yang mempercepat proses keausan.

Kerusakan pada dudukan katup diperlukan kombinasi desain material yang tepat, perlakuan permukaan, dan kontrol kondisi operasi. Misalnya, pengembangan material *insert* dudukan baru dengan partikel keras, infiltrasi tembaga, atau sintering presisi dapat meningkatkan ketahanan aus dan termal. Studi “*A Study of Valve Seat Insert Wear Mechanisms*” mengulas tentang mekanisme keausan pada berbagai material dudukan katup (*iron-, nickel-, cobalt-base alloys*) dan menunjukkan bahwa work-hardening, oksidasi, pitting, serta struktur mikro sangat

berpengaruh. Strategi perbaikan lain termasuk optimasi geometri dudukan (sudut, lebar kontak), kontrol penyetelan katup, dan pengelolaan kondisi suhu/ tekanan kerja mesin. (Liang, X., et al., 2021)

Secara keseluruhan, kerusakan *Valve Seat* merupakan hasil interaksi berbagai faktor, antara lain pembebanan mekanis, temperatur tinggi, keausan, korosi, kualitas pembakaran, efektivitas sistem pendingin, serta ketepatan prosedur pemeliharaan. Oleh karena itu, upaya pencegahan harus dilakukan melalui pendekatan pemeliharaan preventif dan prediktif, seperti inspeksi visual secara berkala, pengukuran dimensi *Valve Seat*, pengujian kebocoran, analisis kondisi sistem pendingin dan pelumasan, serta penggantian komponen apabila kerusakan telah melampaui batas toleransi. Penerapan strategi pemeliharaan tersebut dapat meningkatkan keandalan sistem katup, mempertahankan tekanan kompresi, dan memperpanjang umur pakai *Cylinder Head* pada mesin diesel kapal.

2.3 Keausan *Valve Seat*

Keausan pada permukaan dudukan katup umumnya diawali oleh kontak geser (*sliding*) antara elemen katup dan dudukan ketika katup menutup di bawah tekanan pembakaran tinggi. Sebuah penelitian "*Sliding Wear Study on the Valve -Seat Insert Contact*" menunjukkan bahwa volume keausan meningkat secara signifikan ketika pengujian dilakukan pada suhu 200 °C dibandingkan suhu ruang, dengan mekanisme aus utama berupa oksidasi dan abrasi. Kondisi lingkungan yang sulit seperti tidak adanya pelumasan pada kontak katup-dudukan membuat permukaan dudukan kehilangan geometri optimalnya dan menyebabkan kebocoran gas serta penurunan efisiensi sealing. (Vera-Cárdenas, et al., 2023).



Gambar 2. 13 Keausan *Valve Seat* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

Keausan pada dudukan katup diperlukan strategi holistik yang mencakup pemilihan material tahan aus dan termal, optimasi geometri dudukan, dan kontrol kondisi operasi. Misalnya, pengembangan material insert dudukan baru dengan partikel keras atau pelumas padat internal telah menunjukkan peningkatan umur layanan penjepit dudukan katup. Sebagai contoh analisis, studi “*Influence of Valve -Seat Angles to Operation Values and Emissions of Medium-Speed Diesel Engines*” menggarisbawahi bahwa sudut dudukan katup yang optimal dan kondisi geometri kontak yang tepat juga berpengaruh besar terhadap performa dan keausan. (Marquardt, L., et al., 2023).

Seiring bertambahnya jam operasi mesin (*running hours*), keausan pada *Valve Seat* akan menyebabkan perubahan geometri bidang kontak antara *Valve* dan *Valve Seat*. Kondisi ini mengakibatkan distribusi tekanan kontak menjadi tidak merata sehingga kemampuan penyekatan (*sealing*) ruang bakar mengalami penurunan. Apabila tidak segera ditangani, keausan akan berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius, seperti terbentuknya alur keausan (*grooving*), retak termal (*thermal cracking*), hingga deformasi permanen pada permukaan *Valve Seat*. Akibatnya, gas hasil pembakaran dapat mengalami kebocoran, tekanan kompresi menurun, efisiensi pembakaran berkurang, serta temperatur gas buang meningkat sehingga berdampak terhadap penurunan performa dan keandalan mesin diesel.

Mekanisme keausan yang terjadi pada *Valve Seat* tidak hanya berupa keausan abrasif, tetapi juga dapat berupa keausan adhesif, dan keausan akibat kelelahan permukaan (*surface fatigue*). Jenis keausan yang dominan bergantung pada kondisi operasi mesin, karakteristik material *Valve Seat*, kualitas pelumasan, serta temperatur kerja komponen. Pada mesin diesel kapal yang beroperasi secara kontinu dengan beban tinggi, peningkatan temperatur dan kegagalan pembentukan lapisan pelumas (*oil film*) sering menjadi penyebab utama terjadinya kontak langsung antar permukaan logam (*metal-to-metal contact*). Kondisi tersebut mempercepat laju keausan dan meningkatkan risiko terjadinya kebocoran pada *Valve Seat*.

Kerusakan *Valve Seat* juga berkaitan erat dengan efektivitas perpindahan panas dari katup menuju *Cylinder Head*. Dalam kondisi normal, sebagian besar panas yang diterima katup buang dialirkan melalui bidang kontak menuju *Valve Seat* dan selanjutnya diteruskan ke sistem pendingin. Namun, apabila permukaan *Valve Seat* mengalami keausan atau deformasi, luas bidang kontak akan berkurang sehingga hambatan perpindahan panas meningkat. Akibatnya, temperatur katup menjadi lebih tinggi dan memperbesar risiko terjadinya *burnt Valve*, retak termal, maupun deformasi permanen padaudukan katup. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan penyekatan ruang bakar semakin menurun dan mempercepat kegagalan komponen.

Apabila kerusakan *Valve Seat* tidak segera ditangani, dampaknya tidak hanya terbatas pada kebocoran ruang bakar, tetapi juga memengaruhi kinerja keseluruhan mesin diesel. Kebocoran yang terjadi akan menurunkan tekanan kompresi sehingga proses pembakaran menjadi kurang efisien. Penurunan efisiensi pembakaran mengakibatkan daya keluaran mesin berkurang, konsumsi bahan bakar meningkat, temperatur gas buang bertambah tinggi, serta emisi hasil pembakaran meningkat. Dalam kondisi yang lebih parah, kerusakan dapat merambat ke komponen lain seperti *exhaust Valve*, *Valve guide*, piston, bahkan *Cylinder Head*, sehingga biaya pemeliharaan dan waktu henti (*downtime*) mesin menjadi lebih besar.

Oleh karena itu, pencegahan kerusakan *Valve Seat* perlu dilakukan melalui penerapan program pemeliharaan preventif dan prediktif. Program tersebut meliputi inspeksi visual secara berkala, pengukuran dimensi *Valve Seat*, pengujian

kebocoran menggunakan media cair maupun *test pressure*, pemeriksaan kualitas sistem pendingin dan pelumasan, serta penyetelan celah katup sesuai spesifikasi pabrikan. Dengan pelaksanaan pemeliharaan yang terencana, kerusakan dapat dideteksi sejak tahap awal sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum berkembang menjadi kegagalan komponen yang lebih serius. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *condition-based maintenance* yang bertujuan meningkatkan keandalan, efisiensi operasi, dan umur pakai mesin diesel kapal.

2.4 Pelumasan *Cylinder Head*

Pelumasan pada sistem *Cylinder Head* mesin pembakaran dalam memiliki fungsi kritis dalam mengurangi gesekan antara komponen-komponen seperti tutup katup (*Valve cover*), batang dan lengan katup (*Valve stem/rocker arm*), camshaft, serta selubung (*Cylinder Head liner*) terhadap blok mesin. Dengan film pelumas yang memadai, kontak antar logam dapat dipindahkan dari kondisi batas (*boundary*) ke kondisi *hydrodynamic* atau *elastohydrodynamic*, sehingga aus permukaan dan kehilangan energi akibat gesekan dapat ditekan. (Li, G., et al., 2023).

Aliran dan distribusi pelumas dalam *Cylinder Head* tidak bersifat statis; dalam banyak mesin, pelumas dipompa melalui jalur-jalur tertutup, saluran galeri, dan mungkin jet-pelumas kecil untuk menyemprot bagian-bagian penting seperti tutup katup atau *rocker arm*. (Mian, M. A., 2021).

Pelumas juga berfungsi sebagai media pembersih (*Cleaning agent*) yang membawa partikel keausan, residu karbon, dan kontaminan hasil pembakaran menuju sistem filtrasi. Selama mesin beroperasi, gesekan antarpermukaan logam menghasilkan partikel-partikel halus yang apabila tidak segera diangkut oleh aliran pelumas dapat mempercepat terjadinya keausan abrasif. Oleh karena itu, kualitas oli pelumas serta efektivitas filter oli menjadi faktor penting dalam menjaga kebersihan saluran pelumasan dan mencegah kerusakan pada komponen *Cylinder Head*. Oli yang telah mengalami degradasi akibat oksidasi atau kontaminasi akan mengalami penurunan viskositas dan kemampuan membentuk lapisan pelumas (*lubricating film*), sehingga perlindungan terhadap permukaan komponen menjadi berkurang.

Pelumasan yang baik di *cylinder head* dapat memperpanjang umur layanan komponen seperti tutup katup, pegas katup, dudukan katup, serta mengurangi

konsumsi oli, emisi dan kehilangan tenaga. Sebaliknya, pelumasan yang buruk dapat menyebabkan keausan katup, penetrasi oli ke ruang bakar, peningkatan asap, dan kerusakan besar. Oleh karena itu, pemantauan film oli, tekanan galeri oli, suhu *Cylinder Head*, dan kondisi pelumas harus menjadi bagian dari strategi pemeliharaan prediktif. (Sherrington, C., et al., 2021).

Keberhasilan sistem pelumasan sangat dipengaruhi oleh tekanan dan debit oli yang dihasilkan oleh pompa pelumas. Tekanan oli yang terlalu rendah menyebabkan suplai pelumas menuju mekanisme katup menjadi tidak mencukupi sehingga kontak langsung antarmuka logam (*metal-to-metal contact*) lebih mudah terjadi. Sebaliknya, tekanan oli yang terlalu tinggi dapat meningkatkan beban kerja sistem pelumasan dan berpotensi menyebabkan kebocoran pada sambungan maupun *seal*. Oleh karena itu, tekanan pelumas harus dijaga sesuai dengan spesifikasi pabrikan agar seluruh komponen pada *Cylinder Head* memperoleh pelumasan yang memadai selama mesin beroperasi.

Efektivitas sistem pelumasan juga dipengaruhi oleh karakteristik viskositas oli terhadap perubahan temperatur operasi. Pada saat temperatur mesin meningkat, viskositas oli cenderung menurun sehingga ketebalan lapisan pelumas (*oil film thickness*) menjadi lebih tipis. Sebaliknya, apabila temperatur terlalu rendah, viskositas oli menjadi lebih tinggi sehingga sirkulasi pelumas menuju komponen-komponen pada *Cylinder Head* menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, pemilihan jenis oli yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan sangat diperlukan agar pelumas mampu mempertahankan karakteristik alir dan kemampuan pelumasannya pada berbagai kondisi operasi mesin.

Kondisi pelumasan yang tidak optimal dapat mempercepat kerusakan pada *Valve Seat* dan komponen mekanisme katup lainnya. Meskipun bidang kontak antara *Valve* dan *Valve Seat* tidak memperoleh pelumasan secara langsung selama proses pembakaran, kualitas pelumasan pada *Valve stem* dan *Valve guide* tetap memengaruhi keselarasan (*alignment*) gerakan katup. Apabila terjadi keausan pada *Valve guide* akibat kekurangan pelumas, posisi katup akan mengalami penyimpangan sehingga distribusi beban pada permukaan *Valve Seat* menjadi tidak merata. Kondisi tersebut akan mempercepat terjadinya keausan lokal, menurunkan

kemampuan penyekatan ruang bakar, serta meningkatkan risiko kebocoran pada *Cylinder Head*.

Kontaminasi oli merupakan salah satu faktor yang sering menyebabkan penurunan performa sistem pelumasan. Kontaminan dapat berasal dari partikel logam hasil keausan, debu, air laut, air pendingin, maupun residu hasil pembakaran yang masuk ke dalam sistem pelumasan. Keberadaan kontaminan tersebut dapat mempercepat proses abrasi pada permukaan komponen, menyumbat saluran oli, serta menurunkan kemampuan pelumas dalam membentuk lapisan pemisah antarpermukaan logam. Apabila kondisi ini tidak segera ditangani, maka laju keausan pada *Valve stem*, *Valve guide*, *camshaft*, dan *Valve Seat* akan meningkat sehingga memperbesar potensi terjadinya kebocoran pada sistem penyekatan ruang bakar.

Hubungan antara sistem pelumasan dengan keausan *Valve Seat* sangat erat karena pelumasan yang tidak optimal menyebabkan peningkatan koefisien gesek pada mekanisme katup. Gesekan yang tinggi akan menghasilkan panas berlebih (*frictional heat*) sehingga mempercepat oksidasi permukaan material dan memperbesar kemungkinan terjadinya adhesive wear maupun *scuffing* pada area kontak. Akibatnya, permukaan *Valve Seat* kehilangan tingkat kerataan dan kualitas penyekatannya menurun. Dalam jangka panjang kondisi tersebut menyebabkan kebocoran gas pembakaran, penurunan tekanan kompresi, serta berkurangnya efisiensi pembakaran pada mesin diesel kapal.

Untuk menjaga keandalan sistem pelumasan, diperlukan program pemeliharaan berkala yang meliputi pemeriksaan tekanan oli, penggantian oli dan filter sesuai interval yang direkomendasikan pabrikan, pemeriksaan kebersihan saluran pelumasan, serta analisis kondisi oli (*oil condition monitoring*). Analisis oli secara berkala mampu mendeteksi adanya partikel logam hasil keausan, kontaminasi air, maupun degradasi sifat pelumas sebelum menyebabkan kerusakan yang lebih serius. Dengan penerapan sistem pemeliharaan tersebut, keandalan mekanisme katup dapat dipertahankan sehingga umur pakai *Cylinder Head* dan efisiensi operasi mesin diesel kapal dapat ditingkatkan.

2.5 Sistem Pendingin Yang Digunakan Dalam *Cylinder Head*

Sistem pendingin pada *Cylinder Head* merupakan bagian integral dari sistem manajemen termal mesin diesel yang berfungsi mempertahankan temperatur kerja komponen agar tetap berada pada rentang operasi yang direkomendasikan oleh pabrikan. Selama proses pembakaran berlangsung, energi panas yang dihasilkan hanya sebagian kecil yang dikonversi menjadi energi mekanik, sedangkan sisanya diserap oleh komponen mesin, terutama piston, blok silinder, dan *Cylinder Head*. Apabila panas tersebut tidak segera dipindahkan melalui sistem pendingin, maka akan terjadi peningkatan temperatur yang dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik material, deformasi komponen, hingga kegagalan struktur akibat tegangan termal yang berlebihan.

Efektivitas sistem pendingin pada *Cylinder Head* sangat menentukan kestabilan temperatur kerja mesin diesel. Selama proses pembakaran berlangsung, energi panas yang dihasilkan hanya sebagian yang diubah menjadi energi mekanik, sedangkan sisanya diserap oleh komponen mesin, terutama *Cylinder Head*, liner silinder, dan piston. Apabila panas tersebut tidak dilepaskan secara efektif, temperatur komponen akan meningkat hingga melebihi batas desain material. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanik, deformasi termal, retak (*thermal cracking*), serta mempercepat keausan pada komponen seperti *Valve Seat*, *Valve guide*, dan *exhaust Valve*. Oleh karena itu, sistem pendingin dirancang untuk menjaga temperatur kerja mesin tetap berada pada kondisi optimum sehingga proses pembakaran berlangsung secara efisien dan komponen memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Pada mesin diesel kapal, *Cylinder Head* merupakan salah satu komponen yang menerima beban termal paling tinggi karena berada dalam kontak langsung dengan ruang bakar, katup masuk (*intake Valve*), katup buang (*exhaust Valve*), serta injektor bahan bakar. Oleh sebab itu, distribusi aliran media pendingin di dalam saluran pendingin (*water jacket*) harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menyerap panas secara merata dari seluruh permukaan *Cylinder Head*. Distribusi temperatur yang seragam sangat penting untuk mencegah terbentuknya gradien temperatur yang tinggi, karena kondisi tersebut dapat mengakibatkan

deformasi, retak termal (*thermal cracking*), maupun perubahan dimensi pada dudukan katup (*Valve Seat*).

Pada *Cylinder Head*, fluida pendingin mengalir melalui saluran pendingin (*water jacket*) yang mengelilingi ruang bakar, dudukan katup (*Valve Seat*), saluran gas buang (*exhaust port*), dan dudukan injektor. Konfigurasi saluran tersebut dirancang agar perpindahan panas berlangsung secara merata pada daerah yang menerima beban termal paling tinggi. Aliran fluida pendingin menyerap panas melalui mekanisme konveksi dari permukaan logam *Cylinder Head*, kemudian panas tersebut dibawa menuju *heat exchanger* untuk dilepaskan ke media pendingin sekunder sebelum fluida kembali bersirkulasi. Distribusi aliran pendingin yang seragam sangat penting untuk mencegah terbentuknya titik panas (*hot spot*) yang dapat menimbulkan tegangan termal lokal dan mempercepat kerusakan komponen.

Selain berfungsi mengendalikan temperatur operasi, sistem pendingin juga berperan dalam menjaga stabilitas dimensi komponen. Material penyusun *Cylinder Head* dan *Valve Seat* akan mengalami pemuaian akibat kenaikan temperatur selama mesin beroperasi. Apabila proses pendinginan berlangsung secara tidak merata, maka akan terjadi perbedaan pemuaian antarkomponen yang menimbulkan tegangan termal (*thermal stress*). Tegangan tersebut dapat menyebabkan perubahan bentuk pada permukaan *Valve Seat*, mengurangi luas bidang kontak antara katup dan dudukannya, serta menurunkan kemampuan penyekatan (*sealing*) ruang bakar. Dalam jangka panjang, kondisi tersebut menjadi salah satu faktor yang mempercepat timbulnya kebocoran pada *sealing Cylinder Head*.

Keandalan sistem pendingin sangat dipengaruhi oleh kondisi fluida pendingin yang digunakan. Pada sistem pendingin tertutup (*fresh water cooling system*), air tawar umumnya dicampur dengan inhibitor korosi dan *coolant additive* untuk mencegah pembentukan kerak (*scaling*), korosi, serta kavitasi pada saluran pendingin. Sebaliknya, apabila kualitas fluida pendingin tidak terjaga, endapan mineral dan produk korosi dapat menempel pada dinding *water jacket*, sehingga menghambat perpindahan panas dan menurunkan efisiensi sistem pendingin. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air pendingin, pengukuran pH, konsentrasi inhibitor, dan kebersihan sistem menjadi bagian penting dari program pemeliharaan mesin diesel kapal.

Pengoperasian mesin dapat berjalan secara optimal ditandai dengan beberapa sistem beroperasi dengan baik diantaranya pada sistem bahan bakar, sistem pendingin, sistem pelumasan, dan sistem udara *start*. Sistem bahan bakar akan memberikan dampak yang panas terhadap area mesin yang dapat mengakibatkan perubahan struktur pada mesin, sehingga membutuhkan pendinginan dan pelumasan yang optimal. Sistem pendinginan dan sistem pelumasan yang baik akan menghilangkan panas (*over heating*), sehingga dapat mengurangi kerusakan. (Joko Subektia, dkk, 2022).

Apabila sistem pendinginan, sistem pelumasan, dan sistem bahan bakar dilakukan perawatan dengan baik oleh tenaga ahli dibidangnya maka dapat mengantisipasi kerusakan yang parah juga memengaruhi masa kerja lebih lama pada komponen-komponen mesin diesel selain itu dapat menekan biaya operasional yang lebih besar (Purjiyono et al., 2024).

Jenis pendingin dengan air terbagi menjadi dua, yaitu pendingin air tawar dan pendingin air laut (Pendhi, 2024). Sistem pendinginan mesin pada kapal menggunakan media air tawar secara tertutup mengalir dalam bodi mesin yang bertujuan untuk mengurangi dampak panas akibat dari proses pembakaran. Adapun jenis-jenis air pendingin diantaranya yaitu :

1. Air Laut

Sistem pendingin berbasis air laut yang digunakan dalam mesin diesel khususnya mesin kapal merupakan sistem termal yang memanfaatkan air laut sebagai media pembawa panas akhir untuk menghilangkan kalor yang dihasilkan selama proses pembakaran dan gesekan mekanis. Media air laut umumnya digunakan dalam sirkuit eksternal (*side-cooling circuit*) yang mengalir melalui penukar panas (*heat exchanger*) untuk mendinginkan cairan pendingin utama (*fresh water*) atau langsung mendinginkan komponen tertentu pada mesin. (J.; Šundov, M, et al., 2021).

Dalam desain operasionalnya, sistem pendingin air laut bekerja dengan alur sebagai berikut:

1. Cairan pendingin internal (*fresh water* atau *coolant* khusus) menyerap panas dari blok silinder, *cylinder head* , dan komponen mesin lain.

2. Cairan ini kemudian melewati heat exchanger dimana air laut digunakan sebagai media primer kedua untuk membuang panas ke laut.
3. Air laut mengalir dari luar kapal lalu kembali ke laut setelah melewati proses pertukaran panas. Konfigurasi ini menghindari kontak langsung air laut yang bersifat korosif dengan bagian mesin utama, sekaligus memanfaatkan kemampuan pendinginan air laut yang melimpah dalam lingkungan kelautan. (Kang, B.-S. Lim, Y.-S Jo, K.-J., 2021)

2. Air Tawar

Sistem pendingin berbasis air tawar (*fresh-water*) yang digunakan dalam mesin diesel merupakan sistem sirkulasi tertutup yang bertujuan mengalirkan fluida pendingin yang bersih dan terkontrol secara kimia untuk menyerap panas dari blok silinder, *cylinder head*, dan komponen termal lainnya. Fluida air tawar yang digunakan biasanya dilengkapi dengan inhibitor korosi dan zat anti-skala, sehingga risiko pembentukan kerak, deposit, dan korosi pada ruang jaket mesin dapat diminimalkan. Sebuah penelitian mengungkapkan bahwa sistem pendingin tertutup dengan air tawar memungkinkan efisiensi perpindahan panas yang lebih stabil serta pemeliharaan yang lebih mudah dibanding sistem terbuka langsung menggunakan air laut. (M. Šundov et al., 2021).

Dalam operasinya, air tawar sebagai media pendingin dikirim oleh pompa sirkulasi melalui jaket pendingin di sekitar silinder dan *Cylinder Head* mesin diesel, kemudian setelah menyerap panas dialirkan melalui penukar panas (*heat exchanger*) atau cooler yang mendinginkannya kembali sebelum kembali ke sirkuit. Komponen-komponen ini termasuk pompa, pipa, jaket air, cooler/frigorifier, dan sistem kontrol aliran (termasuk termostat atau katup kontrol). (Demianus W. Sroyer, et al., 2021).

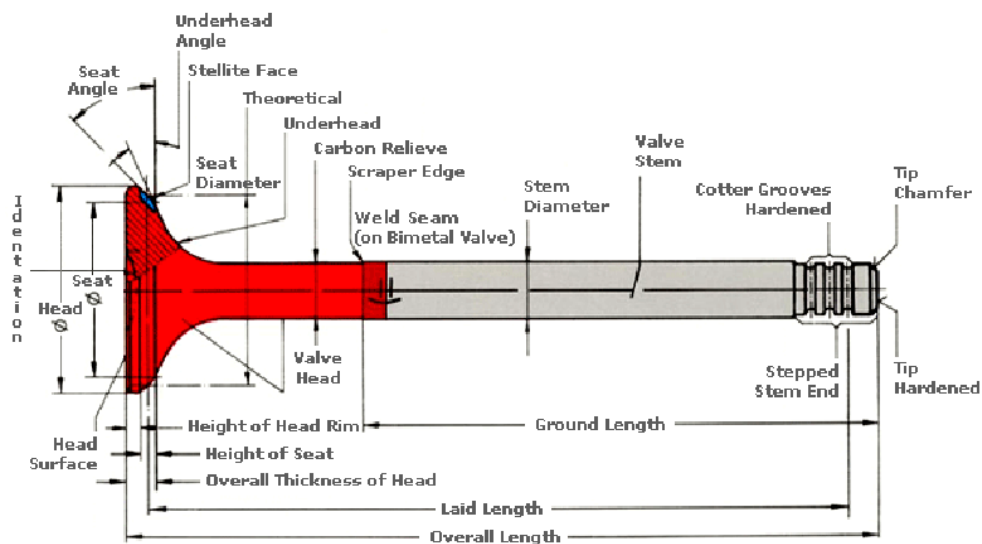
Dalam pengoperasian mesin diesel kapal, pemeliharaan sistem pendingin dilakukan secara berkala melalui pemeriksaan debit dan tekanan aliran pendingin, inspeksi pompa sirkulasi, pembersihan *heat exchanger*, serta pemeriksaan kondisi saluran pendingin pada *Cylinder Head*. Pemeliharaan preventif tersebut bertujuan untuk memastikan proses pelepasan panas berlangsung secara optimal dan mencegah terjadinya *overheating*. Dengan sistem pendingin yang bekerja sesuai spesifikasi, temperatur kerja *Cylinder Head* dapat dipertahankan dalam batas yang

diizinkan sehingga risiko kerusakan pada *Valve Seat*, *Cylinder Head*, maupun komponen ruang bakar lainnya dapat diminimalkan serta keandalan mesin diesel kapal tetap terjaga.

2.6 Konstruksi *Valve Seat*

Konstruksi *insert*udukan katup memperhitungkan struktur mikro dan komposisi material yang menyediakan kombinasi kekerasan tinggi, ketahanan aus, dan kemampuan menghantarkan panas. Misalnya, dalam “*Review of Valve Seat insert material properties required for success*” disebut bahwa sifat-sifat seperti *hot hardness*, resistansi korosi, resistansi adhesi dan abrasi adalah krusial, dan seringkali ditentukan oleh jenis dan distribusi karbida (seperti MC-type) dalam matriks logam. (Strong, G., & Liang, X., 2021)

Adapun gambar dari konstruksi *Valve Seat* dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2. 14 Konstruksi *Valve Seat* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

Konstruksi dudukan katup juga memperhitungkan kompatibilitas antara katup (*Valve*) dan insert serta *cylinder head*. Material insert harus memiliki koefisien ekspansi termal yang sedekat mungkin dengan *cylinder head* agar expansion mismatch minimal, dan harus cocok dengan katup yang akan menutupnya (material katup, suhu operasi, bahan bakar). Pemilihan material dibedakan antara *intake* dan *exhaust*, untuk *intake* yang suhunya lebih rendah dapat memakai material dengan konduktivitas lebih tinggi (misalnya tembaga-infiltrasi), sementara untuk *exhaust*

membutuhkan material dengan keausan tinggi dan tahan oksidasi (misalnya paduan berbasis nikel/kobalt). Sumber industri menyebut berbagai seri material (HM, HT, HT+) untuk aplikasi berbeda.

Permesinan dan penyelesaian permukaan insert merupakan bagian penting dari konstruksi dudukan katup. Insert harus memiliki finishing permukaan yang halus umumnya toleransi permukaan pada root face sangat presisi, paralelisme tinggi, dan permukaan harus bebas dari porositas atau inklusi besar untuk menahan beban dampak penutupan katup berulang. Sebuah panduan teknis menyebut bahwa sintered seat insert dengan matriks tungsten-karbida dan logam sebagai matriks menghasilkan mikrostruktur yang sangat seragam dan mudah dimesin secara presisi tinggi

Konstruksi *Valve Seat* juga harus mampu mengakomodasi proses perpindahan panas yang berlangsung selama pembakaran. Sebagian besar panas yang diterima oleh katup buang (*exhaust Valve*) akan dialirkan melalui bidang kontak menuju *Valve Seat* dan selanjutnya diteruskan ke *Cylinder Head* untuk didinginkan oleh sistem pendingin mesin. Oleh karena itu, kualitas kontak antara kedua komponen harus tetap terjaga agar perpindahan panas berlangsung secara efektif. Apabila terjadi keausan atau perubahan geometri pada permukaan *Valve Seat*, hambatan termal akan meningkat sehingga temperatur katup menjadi lebih tinggi dan risiko terjadinya retak termal (*thermal cracking*) maupun deformasi akan semakin besar.

Ketahanan terhadap kondisi ekstrem seperti suhu tinggi, beban siklik, korosi gas buang, dan partikel abrasif juga menjadi pertimbangan konstruksi dudukan katup. Material modern untuk insert dirancang agar memiliki ketahanan oksidasi tinggi, resistansi keausan dan hot hardness, serta kemampuan mentransfer panas dengan baik agar katup tidak menjadi titik panas. (Plewa, K., & Żurek, J., 2021).

Konstruksi *Valve Seat* juga dirancang untuk mempertahankan kestabilan dimensi selama mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang berlangsung secara terus-menerus. Pada saat mesin diesel beroperasi, temperatur pada area katup buang dapat meningkat secara signifikan akibat paparan langsung gas hasil pembakaran. Perubahan temperatur tersebut menyebabkan material *Valve Seat* mengalami pemuatan termal, sedangkan pada saat mesin berhenti material akan kembali mengalami penyusutan. Siklus termal yang terjadi secara berulang dapat

menimbulkan tegangan sisa (*residual stress*) pada daerah kontak antara *Valve Seat* dan *Cylinder Head*. Oleh karena itu, konstruksi *Valve Seat* harus mampu mempertahankan stabilitas dimensi agar tidak terjadi perubahan bentuk yang dapat mengurangi efektivitas penyekatan ruang bakar.

Dalam proses manufaktur, *Valve Seat* diproduksi dengan tingkat ketelitian yang tinggi untuk memperoleh dimensi, sudut, dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan spesifikasi teknis. Ketelitian proses pemesinan sangat memengaruhi luas bidang kontak antara katup dan *Valve Seat*. Apabila sudut dudukan tidak sesuai dengan sudut permukaan katup, distribusi tekanan kontak akan menjadi tidak merata sehingga hanya sebagian kecil permukaan yang menerima beban pembakaran. Kondisi tersebut dapat mempercepat terjadinya keausan lokal (*localized wear*), meningkatkan temperatur pada area kontak, serta menyebabkan kebocoran gas hasil pembakaran.

Aspek konstruksi lainnya yang perlu diperhatikan adalah kemampuan *Valve Seat* dalam menahan beban impak (*impact load*) yang timbul setiap kali katup menutup. Selama mesin beroperasi, katup mengalami gerakan bolak-balik dengan frekuensi yang sangat tinggi sehingga menghasilkan gaya tumbukan yang berulang pada permukaan *Valve Seat*. Apabila konstruksi dudukan katup tidak memiliki kekuatan mekanik yang memadai, maka permukaan kontak akan mengalami deformasi plastis, *pitting*, maupun pengelupasan material (*spalling*). Kerusakan tersebut akan mengurangi kualitas penyekatan dan mempercepat penurunan performa mesin diesel.

Selain menerima beban mekanis, *Valve Seat* juga harus memiliki ketahanan terhadap korosi dan oksidasi akibat paparan gas pembakaran yang mengandung senyawa kimia agresif. Pada mesin diesel kapal yang beroperasi dalam waktu lama, gas hasil pembakaran dapat membawa partikel karbon, sulfur, dan residu lainnya yang berpotensi menimbulkan korosi pada permukaan *Valve Seat*. Oleh karena itu, pemilihan material dengan ketahanan oksidasi dan korosi yang baik menjadi salah satu pertimbangan utama dalam perancangan konstruksi *Valve Seat* agar umur pakai komponen dapat ditingkatkan.

Keandalan konstruksi *Valve Seat* juga dipengaruhi oleh ketelitian proses pemasangan dan kondisi geometrinya selama masa operasi. Pemasangan yang tidak

sesuai spesifikasi dapat menyebabkan terjadinya *misalignment*, distribusi tekanan kontak yang tidak merata, serta penurunan kemampuan penyekatan ruang bakar. Selain itu, deformasi akibat temperatur tinggi maupun keausan yang terjadi secara terus-menerus akan mengubah bentuk permukaan kontak sehingga mengakibatkan kebocoran gas pembakaran, penurunan tekanan kompresi, meningkatnya temperatur katup, serta berkurangnya efisiensi pembakaran

Konstruksi *Valve Seat* juga harus mempertimbangkan kemudahan proses perawatan (*maintainability*). Desainudukan katup yang memenuhi standar memungkinkan proses inspeksi, *lapping*, *recutting*, maupun penggantian *Valve Seat insert* dilakukan tanpa merusak bagian lain dari *Cylinder Head*. Kemudahan dalam proses pemeliharaan akan mengurangi waktu perbaikan (*downtime*), meningkatkan efisiensi kegiatan perawatan, serta menekan biaya operasional kapal. Oleh sebab itu, aspek konstruksi tidak hanya berorientasi pada kekuatan dan ketahanan material, tetapi juga mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan pemeliharaan selama masa operasi mesin.

Berdasarkan aspek konstruksi tersebut, dapat dipahami bahwa *Valve Seat* tidak hanya berfungsi sebagai dudukan katup, tetapi juga sebagai komponen struktural yang menerima beban mekanis, beban termal, dan beban dinamis secara bersamaan. Interaksi antara karakteristik material, desain geometris, kualitas manufaktur, metode pemasangan, serta sistem pendinginan akan menentukan kemampuan *Valve Seat* dalam mempertahankan fungsi penyekatan selama masa operasi. Dengan demikian, pemahaman mengenai konstruksi *Valve Seat* menjadi dasar penting dalam menganalisis penyebab kebocoran, menentukan metode perbaikan yang tepat, serta menyusun program pemeliharaan preventif pada mesin diesel kapal

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Waruna Shipyard Indonesia tepatnya di Workshop *engine* dan Kapal Thug Boat MARTHA INDAH

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■	■				
2	Studi Literatur		■	■			
3	Penulisan Laporan			■	■		
4	Seminar Proposal				■	■	
5	Pengambilan & Analisa Data				■	■	
6	Penulisan Laporan Akhir					■	■
7	Sidang Sarjana						■

3.2 Bahan & Alat

Berikut merupakan bahan dan alat yang digunakan pada penelitian Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head*.

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam Proses Penelitian ini adalah:

1. Data Primer yang digunakan adalah mencatat keterangan secara langsung dari mekanik dan kru kapal tentang objek yang diteliti, yaitu terhadap permasalahan yang terjadi pada *Seating Cylinder Head* Kapal Thug Boat MARTHA INDAH.
2. Data sekunder yang digunakan adalah data yang didapatkan secara tidak langsung, yaitu melalui buku-buku manual *book* yang membahas tentang *Seating Cylinder Head* yang akan diteliti.

3.2.2 Alat Penelitian

1. *Cylinder Head*

Cylinder Head merupakan salah satu komponen utama pada mesin diesel yang berfungsi sebagai penutup bagian atas silinder sekaligus membentuk ruang bakar (*combustion chamber*) bersama piston dan *cylinder liner*. Komponen ini dirancang untuk menahan tekanan pembakaran yang tinggi serta menerima beban termal akibat proses pembakaran yang berlangsung secara berulang. Oleh karena itu, *Cylinder Head* harus memiliki kekuatan mekanik, kekakuan struktur, serta kemampuan menghantarkan panas yang baik agar mampu mempertahankan kinerjanya selama mesin beroperasi.

Secara konstruksi, *Cylinder Head* terdiri atas beberapa bagian penting, antara lain ruang bakar (*combustion chamber*), kedudukan katup (*Valve Seat*), pemandu katup (*Valve guide*), lubang pemasangan *fuel injector*, saluran masuk udara (*intake port*), saluran gas buang (*exhaust port*), serta saluran pendingin (*water jacket*). Seluruh komponen tersebut bekerja secara terpadu untuk mendukung proses pemasukan udara, pembakaran bahan bakar, pembuangan gas hasil pembakaran, serta pelepasan panas dari ruang bakar. Integrasi berbagai komponen tersebut menjadikan *Cylinder Head* sebagai pusat pengendalian proses pembakaran pada mesin diesel.



Gambar 3. 1 Cylinder Head pada kapal thug boat Martha Indah.

2. Special Tools

Penggunaan *special tools* pada pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan *Cylinder Head* merupakan aspek yang sangat penting untuk menjamin ketepatan, keamanan, dan kualitas hasil pekerjaan. Berbeda dengan *general tools*, *special tools* dirancang secara khusus oleh pabrikan agar sesuai dengan bentuk, ukuran, dan karakteristik komponen mesin tertentu. Penggunaan alat khusus tersebut bertujuan untuk mempermudah proses pembongkaran maupun pemasangan komponen tanpa menyebabkan kerusakan pada permukaan kerja atau mengubah dimensi komponen.

Dalam proses pembongkaran *Cylinder Head*, beberapa komponen seperti *fuel injector*, pegas katup (*Valve spring*), *Valve Seat insert*, serta baut pengikat *Cylinder Head* memerlukan alat khusus karena bekerja pada kondisi tekanan dan torsi yang tinggi. Penggunaan alat yang tidak sesuai dapat menyebabkan deformasi pada komponen, kerusakan ulir baut, maupun perubahan geometri permukaan penyekat. Oleh karena itu, setiap tahapan pekerjaan harus menggunakan *special tools* yang memiliki spesifikasi sesuai dengan rekomendasi pabrikan agar gaya yang diberikan dapat terdistribusi secara merata dan tidak menimbulkan tegangan berlebih pada komponen.



Gambar 3. 2 *Special Tools* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

3. Kunci Torsi

Kunci torsi (torque wrench) merupakan alat ukur mekanis yang digunakan untuk mengencangkan baut atau mur dengan nilai momen puntir (*torque*) tertentu sesuai spesifikasi yang ditetapkan oleh pabrikan. Berbeda dengan kunci biasa, *torque wrench* mampu mengontrol besarnya gaya puntir yang diberikan pada baut sehingga menghasilkan gaya penjepit (*clamping force*) yang seragam. Dalam pekerjaan pemeliharaan mesin diesel kapal, penggunaan *torque wrench* sangat penting untuk menjamin integritas sambungan mekanis, khususnya pada komponen yang bekerja di bawah tekanan dan temperatur tinggi, seperti *Cylinder Head*, *connecting rod*, *main bearing cap*, dan *flywheel*.

Prinsip kerja *torque wrench* didasarkan pada hubungan antara gaya yang diberikan pada lengan kunci dan panjang lengan momen sehingga menghasilkan momen puntir tertentu pada baut. Besarnya torsi yang diterapkan harus sesuai dengan nilai yang direkomendasikan oleh pabrikan agar baut mampu menghasilkan gaya penjepit yang cukup tanpa mengalami deformasi plastis maupun kegagalan material. Pengencangan yang dilakukan di bawah nilai torsi yang ditentukan (*under torque*) dapat menyebabkan sambungan menjadi longgar sehingga berpotensi menimbulkan kebocoran, getaran, maupun kerusakan akibat pergeseran komponen. Sebaliknya, pengencangan yang melebihi spesifikasi (*over torque*) dapat menyebabkan baut mengalami regangan permanen, kerusakan ulir, bahkan patah akibat tegangan tarik yang melampaui batas luluh material.



Gambar 3. 3 Kunci Torsi (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

4. *Valve Seat*

Valve Seat merupakan komponen yang berfungsi sebagai bidang dudukan katup (*Valve*) pada *Cylinder Head* sehingga mampu membentuk penyekatan (*sealing*) yang rapat antara ruang bakar dengan saluran masuk (*intake port*) maupun saluran buang (*exhaust port*). Pada saat katup berada dalam posisi tertutup, permukaan *Valve face* akan bersentuhan secara langsung dengan *Valve Seat* sehingga mencegah terjadinya kebocoran gas selama proses kompresi dan pembakaran. Kemampuan *Valve Seat* dalam membentuk penyekatan yang sempurna sangat menentukan besarnya tekanan kompresi, efisiensi pembakaran, serta daya yang dihasilkan oleh mesin diesel. Selain berfungsi sebagai media penyekatan, *Valve Seat* berperan sebagai jalur utama perpindahan panas (*heat transfer path*) dari katup menuju *Cylinder Head*. Pada mesin diesel, khususnya pada katup buang (*exhaust Valve*), temperatur kerja dapat mencapai ratusan derajat Celsius akibat paparan langsung gas hasil pembakaran.



Gambar 3. 4 *Valve Seat* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

5. *Test Pressure*

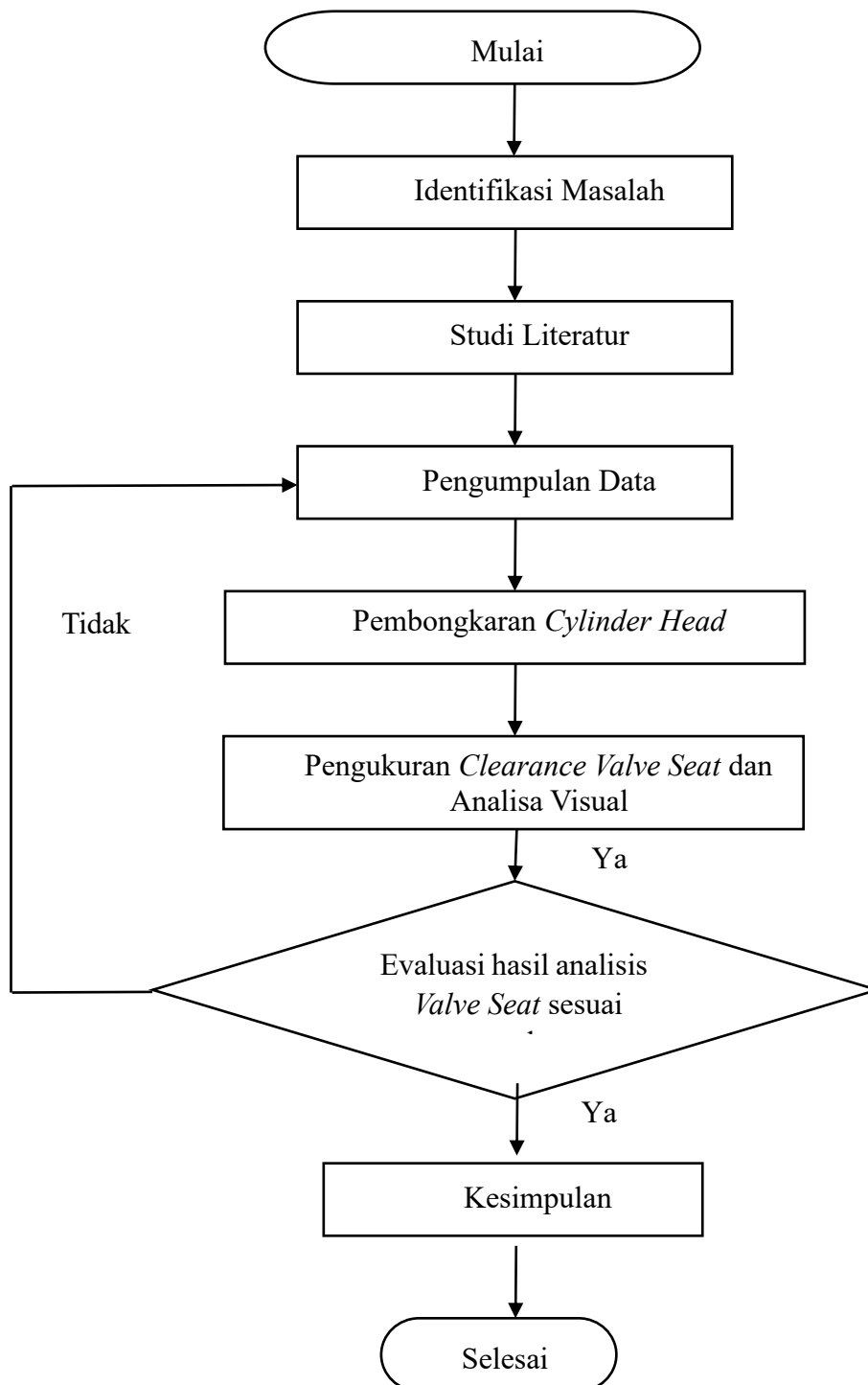
Test Pressure untuk mengetahui kebocoran pada *Cylinder Head* dengan tegangan tinggi, dimana alat yang digunakan test press pada saat pengetesan *Cylinder Head* harus menyediakan air untuk diletakan, di dalam *Cylinder Head* tersebut dan didalam alat *Test Pressure* tersebut, setingan untuk pressure pada *test pressure* dari 0 sampai 3 bar.



Gambar 3. 5 *Test Pressure* (PT. Waruna Shipyard Indonesia)

3.3 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir penelitian dapat dilihat gambar di bawah ini:



3.4 Rancangan Alat Penelitian

Adapun rancangan alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.13



Gambar 3. 6 Rancangan Alat Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

1. Melakukan pengambilan data secara langsung antara lain berupa data hasil manual *book*.
2. Melakukan proses pembongkaran komponen *Cylinder Head* serta melakukan pengecekan *visual* dan *non visual* dengan operator lapangan yang mengerti tentang *Cylinder Head* pada kapal Thug Boat MARTHA INDAH.
3. Melakukan *Cleaning Cylinder Head* dari sisa gasket yang menempel.
4. Melakukan Pengetesan dengan meletakkan solar ke atas *Valve Seat*.
5. Melakukan pengujian dengan *Test Pressure (Uji tekanan)*



Gambar 3. 7 Tes Kebocoran *Valve Seat* Memakai Solar

3.6 Proses Pembongkaran *Cylinder Head*

Proses pembongkaran *Cylinder Head* merupakan salah satu tahapan pemeliharaan yang bertujuan untuk melakukan inspeksi, perbaikan, maupun penggantian komponen yang mengalami kerusakan. Pelaksanaan pembongkaran harus dilakukan secara sistematis sesuai prosedur kerja agar tidak menimbulkan kerusakan pada komponen mesin serta menjamin keselamatan personel yang terlibat. Adapun tahapan pembongkaran *Cylinder Head* adalah sebagai berikut.

1. Sebelum pembongkaran dilakukan, mesin dipastikan dalam kondisi berhenti (*shutdown*) dan memiliki temperatur yang aman untuk dikerjakan. Sistem bahan bakar, pelumasan, udara tekan, dan pendingin diisolasi sesuai prosedur keselamatan. Selanjutnya, teknisi menggunakan alat pelindung diri (APD) seperti *safety helmet*, *safety shoes*, sarung tangan, dan *wearpack*. Seluruh peralatan kerja dipersiapkan sesuai kebutuhan untuk menjamin kelancaran proses pembongkaran.
2. Seluruh komponen yang terhubung dengan *Cylinder Head* dilepaskan secara bertahap, meliputi pipa bahan bakar bertekanan tinggi (*high pressure fuel pipe*), saluran udara masuk (*intake manifold*), saluran gas buang (*exhaust manifold*), pipa air pendingin, pipa pelumas, serta sambungan lainnya. Setiap ujung saluran ditutup menggunakan *cap* atau penutup khusus untuk mencegah masuknya debu maupun kontaminan ke dalam sistem.
3. *Fuel injector* dilepas menggunakan *special tools* sesuai spesifikasi pabrikan. Proses pelepasan dilakukan secara hati-hati untuk menghindari kerusakan pada nozzle maupun kedudukan injektor. Setelah dilepas, injektor ditempatkan pada wadah yang bersih untuk mencegah kontaminasi.
4. Komponen mekanisme katup seperti *rocker arm*, *push rod*, dan apabila diperlukan pegas katup (*Valve spring*) dilepas secara berurutan. Setiap komponen diberi tanda identifikasi agar posisi pemasangannya tidak tertukar pada saat proses perakitan kembali.
5. Baut atau *stud bolt* pengikat *Cylinder Head* dikendurkan secara bertahap menggunakan kunci torsi atau *special tools*. Urutan pelepasan mengikuti pola silang (*cross pattern*) dari bagian luar menuju bagian tengah atau sesuai

rekomendasi pabrikan. Metode ini bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dan mencegah terjadinya deformasi pada permukaan *Cylinder Head*.

6. Setelah seluruh baut dilepas, *Cylinder Head* diangkat menggunakan alat bantu angkat seperti *chain block*, *crane*, atau *lifting sling* yang dipasang pada titik angkat (*lifting point*) yang telah disediakan. Proses pengangkatan dilakukan secara perlahan untuk menghindari benturan yang dapat merusak permukaan penyekat (*sealing surface*) maupun komponen lainnya.

3.7 Variabel

Adapun variabel yang digunakan, di antaranya sebagai berikut :

1. Data *Test Pressure* mesin *Cylinder Head* induk.
2. Metode Lapping yang digunakan dan hasil Lapping sebelum dan sesudah perbaikan.
3. Menganalisa penyebab kebocoran *sealing Cylinder Head*.

3.8 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan selama 1 bulan di PT. Waruna Shipyard Indonesia.

3.9 Pengolahan Data

Langkah – langkah pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Pengolahan terkait kajian kebocoran, lapping, dan *Test Pressure sealing Cylinder Head* pada mesin induk dikapal Thug Boat Martha Indah.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada *Cylinder Head* mesin induk kapal dengan fokus pada nomor I, II, III, IV, V, VI Pengujian dilakukan melalui metode pengukuran diameter, dan *inspeksi visual* setelah proses test pressure. Kebocoran yang sering terjadi pada *Cylinder Head* dikarenakan permukaan *Valve Seat* sudah tidak rata dan juga bisa disebabkan oleh korosi, kebocoran *Cylinder Head* pada main engine disebabkan oleh gesekan antara *Valve Seat* dan *Valve* sehingga menghambat penyerapan panas oleh air pendingin yang menyebabkan terjadinya *over heat*. Dari setiap kerusakan tersebut berbeda-beda cara penanganannya tergantung dari kerusakan yang terjadi.

4.1.1. Melakukan *Cleaning* sisa gasket yang menempel

Setelah melakukan pembongkaran terhadap *Cylinder Head*, dilakukan pembersihan (*Cleaning*) *Cylinder Head* dari kotoran-kotoran yang bisa dilakukan dengan dua cara, *mechanical* atau *chemical*. Pembersihan dengan *mechanical* adalah pembersihan menggunakan alat seperti sikat, majun sedangkan pembersihan dengan cara *chemical* adalah dengan menggunakan zat kimia tertentu yang memiliki kemampuan untuk membersihkan bagian-bagian *cylinder head* dari kotoran-kotoran yang menempel.



Gambar 4. 1 *Cleaning Cylinder Head* dari sisa gasket yang menempel

4.2. Melakukan Pengukuran Pada *Valve Seat*

Pengukuran *Valve Seat* bertujuan untuk memastikan kesesuaian dimensi, sudut, dan lebar bidang kontak antara katup (*Valve*) dan *Valve Seat*. Kesesuaian ini sangat penting untuk menjamin terjadinya penyekatan (sealing) yang sempurna pada ruang bakar, sehingga kebocoran gas pembakaran dapat di hindari. Pengukuran dilakukan menggunakan *Sigmat* pada diameter luar dan diameter dalam. Data hasil pengukuran digunakan untuk mengidentifikasi ketidakwajaran pada *Valve Seat*, khususnya pada *Cylinder Head* nomor I.

Berikut merupakan hasil pengukuran pada *Valve Seat*.

1. Pengukuran *Valve Seat* bagian intake diameter luar



Gambar 4. 2 Pengukuran *Valve Seat* bagian intake diameter luar

2. Pengukuran *Valve Seat* intake diameter luar



Gambar 4. 3 Pengukuran *Valve Seat* intake diameter luar

3. Pengukuran *Valve Seat intake* diameter dalam



Gambar 4. 4 Pengukuran *Valve Seat intake* diameter dalam

4. Pengukuran *Valve Seat intake* diameter dalam



Gambar 4. 5 Pengukuran *Valve Seat intake* diameter dalam

5. Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter luar



Gambar 4. 6 Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter luar

6. Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter luar



Gambar 4. 7 Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter luar

7. Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter dalam



Gambar 4. 8 Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter dalam

8. Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter dalam



Gambar 4. 9 Pengukuran *Valve Seat exhaust* diameter dalam

4.2.1 Hasil Pengukuran *Valve Seat Cylinder Head*

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat I*

No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
I	Intake	Inner	71.38mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.38mm	Good	
		Outer	71.36mm	Good	
		Outer	71.38mm	Good	
	Exhaust	Inner	71.38mm	Good	
		Inner	71.34mm	Good	
	Exhaust	Outer	71.36mm	Good	
		Outer	71.38mm	Good	

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat II*

No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
II	Intake	Inner	71.22mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.26mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	
		Outer	71.24mm	Good	
	Exhaust	Inner	71.24mm	Good	
		Inner	71.24mm	Good	
	Exhaust	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat III*

No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
III	Intake	Inner	71.20mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.24mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	
		Outer	71.28mm	Good	
	Exhaust	Inner	71.24mm	Good	
		Inner	71.22mm	Good	
	Exhaust	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat IV*

No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
IV	<i>Intake</i>	Inner	71.28mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.28mm	Good	
	<i>Intake</i>	Outer	71.26mm	Good	
		Outer	71.28mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Inner	71.24mm	Good	
		Inner	71.22mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Outer	71.24mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat V*

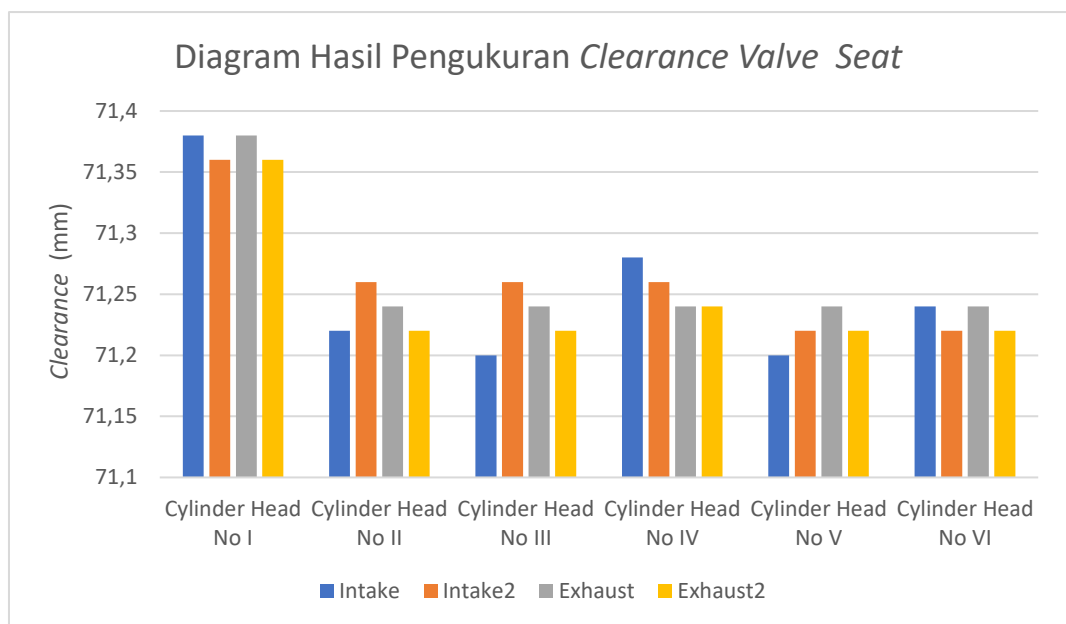
No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
V	<i>Intake</i>	Inner	71.20mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.22mm	Good	
	<i>Intake</i>	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.20mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Inner	71.24mm	Good	
		Inner	71.24mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran *Clearance Valve Seat VI*

No	Valve Seat	Position	Diameter	Keterangan	Allowable Limit
VI	<i>Intake</i>	Inner	71.24mm	Good	71.10- 71.40mm
		Inner	71.22mm	Good	
	<i>Intake</i>	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.24mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Inner	71.24mm	Good	
		Inner	71.24mm	Good	
	<i>Exhaust</i>	Outer	71.22mm	Good	
		Outer	71.26mm	Good	

Tabel diatas merupakan hasil pengukuran *Valve Seat Cylinder Head* No I, II, III, IV, V, VI dengan batas limit yang di perbolehkan 71.10-71.40mm dan setelah dilakukan pengukuran terhadap *Valve Seat Cylinder Head* di atas, kondisi pada *Valve Seat Cylinder Head* no 1 telah mendekati batasan limit dengan hasil pengukuran 71.36- 71.38mm dimana ukuran tersebut terindikasi adanya potensi keausan yang menyebabkan kinerja *Cylinder Head* tidak maksimal.

4.2.2 Diagram Hasil Analisa



Gambar 4.10 Diagram Hasil Analisa

Berdasarkan dari kedua diagram diatas, nilai *clearance Valve Seat* pada *cylinder* no 1 sebesar 71,34 – 71,38 mm, sedangkan pada *cylinder* no II, III, IV, V, VII sebesar 71,20 – 71,28 mm. Terdapat selisih *clearance* sebesar 0,10 mm, di mana *cylinder* no I memiliki nilai yang lebih besar. Meskipun demikian, kedua nilai tersebut masih berada dalam rentang *allowable limit* 71,10–71,40 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi *crosshead shoes* masih memenuhi standar, namun nilai *clearance* pada *cylinder* no I mengindikasikan tingkat keausan yang relatif lebih tinggi dibandingkan *cylinder* no II, III, IV, V, VII. Oleh karena itu, dilakukan pembongkaran dan pemeriksaan lanjutan untuk mengidentifikasi penyebab dan jenis keausan yang terjadi.

4.3 Melakukan pengujian test press

Dilakukannya Test Press untuk mengetahui keretakan atau kebocoran pada *Cylinder Head* dengan tegangan tinggi, dimana alat yang digunakan test press pada saat pengetesan keretakan *Cylinder Head* harus menyediakan air untuk diletakkan didalam *Cylinder Head* tersebut dan didalam alat test press tersebut, setingan untuk pressure pada test press dari 0 sampai 3bar.



Gambar 4. 11 Melakukan pengujian *test press*

4.3.1 Melakukan pengecekan kebocoran menggunakan solar

Metode ini dilakukan dengan meletakkan solar di bagian permukaan *Valve Seat* untuk mengetahui kebocoran pada *Valve Seat*, pada saat melakukan pengujian ini *seat Valve* sudah tidak lagi kedap dan mengakibatkan kebocoran di karenakan permukaannya sudah tidak rata lagi.



Gambar 4. 12 Melakukan pengecekan kebocoran menggunakan solar

4.4 Analisis Penyebab Kebocoran *Valve Seat*

Beberapa penyebab utama kebocoran berdasarkan kondisi teknis mesin dan komponen pendukungnya antara lain sebagai berikut:

1. Degradasi Kualitas Oli Pelumas

Degradasi kualitas oli pelumas merupakan salah satu faktor utama penyebab kebocoran pada *seating Cylinder Head*. Oli pelumas yang digunakan melebihi batas *running hours* akan mengalami penurunan viskositas, oksidasi, serta kehilangan kemampuan membentuk lapisan pelumas (*oil film*) yang berfungsi memisahkan kontak antarpermukaan logam. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya kontak langsung antara *Valve* dan *Valve Seat* sehingga memicu keausan jenis *adhesive wear*. Selain itu, oli yang telah mengalami degradasi juga kehilangan kemampuan dalam meredam panas dan membersihkan partikel hasil pembakaran, sehingga mempercepat kerusakan permukaan *Valve Seat*. Jika kondisi ini berlangsung dalam waktu lama, permukaan *Valve Seat* akan menjadi kasar, tidak rata, dan kehilangan kemampuan untuk membentuk penyekatan yang sempurna pada ruang bakar. Akibatnya, gas hasil pembakaran dapat bocor melalui celah antara *Valve* dan *Valve Seat* yang pada akhirnya menyebabkan penurunan tekanan kompresi, berkurangnya efisiensi pembakaran, meningkatnya konsumsi bahan bakar, serta menurunkan performa mesin induk secara keseluruhan.

2. *Overheating* pada *Cylinder Head*

Peningkatan suhu kerja atau *overheating* pada *Cylinder Head* juga menjadi penyebab utama terjadinya kebocoran pada *Valve Seat*. Temperatur yang terlalu tinggi dapat disebabkan oleh sistem pendingin yang kurang optimal, seperti tersumbatnya saluran pendingin, menurunnya kinerja pompa air, terbentuknya kerak pada *jacket cooling*, maupun kurangnya sirkulasi air pendingin. Suhu yang berlebihan akan memperbesar tegangan termal pada material *Valve Seat* sehingga mempercepat terjadinya deformasi, oksidasi, dan kelelahan termal (*thermal fatigue*). Kondisi ini menyebabkan perubahan dimensi dan ketidakrataan permukaan *Valve Seat* sehingga kontak antara *Valve* dan *Valve Seat* tidak lagi merata. Selain itu, temperatur tinggi juga mempercepat kerusakan lapisan pelumas pada permukaan kontak sehingga

meningkatkan laju keausan. Apabila *overheating* tidak segera ditangani, maka kebocoran gas pembakaran akan semakin besar dan dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih serius pada komponen *Cylinder Head*.

3. Kontaminasi Oli Pelumas

Kontaminasi oli pelumas oleh partikel asing seperti debu, residu karbon hasil pembakaran, serpihan logam akibat keausan komponen, maupun masuknya air pendingin dapat mempercepat kerusakan *Valve Seat*. Partikel-partikel tersebut akan bercampur dengan oli dan bekerja sebagai material abrasif yang mengikis permukaan logam selama proses pelumasan berlangsung. Selain menurunkan kemampuan oli dalam mengurangi gesekan, kontaminasi juga menyebabkan penyumbatan pada saluran pelumasan sehingga distribusi oli menjadi tidak merata. Pelumasan yang tidak optimal mengakibatkan meningkatnya temperatur kontak dan memperbesar kemungkinan terjadinya *adhesive wear*. Dalam jangka panjang, permukaan *Valve Seat* akan mengalami pengikisan, terbentuk goresan-goresan halus, serta kehilangan geometri kontak yang seharusnya mampu menghasilkan penyegelan sempurna. Oleh karena itu, kualitas oli pelumas dan kondisi sistem filtrasi harus selalu dijaga untuk mencegah terjadinya kebocoran pada *seating Cylinder Head*.

4. Getaran Mesin yang Tidak Normal

Getaran mesin yang melebihi batas normal dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap keandalan sistem katup, khususnya pada *Valve Seat*. Getaran berlebih umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan komponen yang berputar, ketidaktepatan penyetelan katup, kerusakan bantalan, maupun proses pembakaran yang tidak stabil. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya ketidak sejajaran (*misalignment*) antara *Valve* dan *Valve Seat* sehingga distribusi tekanan kontak menjadi tidak merata. Akibatnya, sebagian permukaan *Valve Seat* menerima beban yang lebih besar dibandingkan bagian lainnya dan mengalami keausan lokal yang lebih cepat. Getaran yang berlangsung secara terus-menerus juga dapat menyebabkan retak mikro pada permukaan *Valve Seat* dan mempercepat proses kelelahan material. Jika tidak dilakukan tindakan perbaikan, kondisi tersebut akan mengurangi kemampuan

Valve Seat dalam mempertahankan kedapannya ruang bakar dan akhirnya menimbulkan kebocoran gas pembakaran.

5. Keausan *Adhesive Wear* pada *Valve Seat*

Berdasarkan hasil inspeksi visual dan pengujian kebocoran menggunakan solar, jenis keausan yang ditemukan pada *Valve Seat* adalah *adhesive wear*. Keausan ini terjadi akibat kegagalan pembentukan lapisan pelumas yang memadai sehingga dua permukaan logam yang saling bersentuhan mengalami gesekan langsung pada temperatur dan tekanan yang tinggi. Gesekan tersebut menyebabkan perpindahan material dari satu permukaan ke permukaan lainnya, menghasilkan permukaan yang kasar, tidak rata, dan mengalami perubahan bentuk. Keausan *adhesive wear* semakin cepat berkembang apabila didukung oleh kondisi pelumasan yang buruk, kontaminasi oli, suhu operasi yang tinggi, serta adanya getaran mesin yang tidak normal. Dampak dari keausan ini adalah berkurangnya luas bidang kontak antara *Valve* dan *Valve Seat* sehingga kemampuan penyegelan ruang bakar menurun. Akibatnya terjadi kebocoran gas pembakaran, penurunan tekanan kompresi, meningkatnya temperatur gas buang, serta menurunnya efisiensi dan keandalan operasi mesin diesel kapal.

4.5 Penanganan kebocoran *Valve Seat*

Penanganan kebocoran *Valve Seat* harus diawali dengan proses identifikasi penyebab kerusakan secara menyeluruh. Identifikasi tersebut dilakukan melalui inspeksi visual, pengujian kebocoran, pengukuran dimensi, serta evaluasi kondisi komponen pendukung seperti *Valve face*, *Valve guide*, *Valve stem*, dan *Cylinder Head*. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tindakan perbaikan tidak hanya mengatasi gejala kebocoran, tetapi juga menghilangkan penyebab utama (*root cause*) yang mengakibatkan kegagalan penyekatan.

Tahap berikutnya adalah melakukan pemeriksaan kerataan permukaan kontak antara *Valve* dan *Valve Seat*. Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui distribusi bidang kontak, lebar *seat width*, serta kesesuaian sudut kedudukan katup terhadap spesifikasi pabrikan. Bidang kontak yang terlalu sempit akan meningkatkan tekanan kontak sehingga mempercepat keausan,

sedangkan bidang kontak yang terlalu lebar akan mengurangi kemampuan pelepasan panas dari katup menuju *Cylinder Head*. Oleh karena itu, dimensi *Valve Seat* harus tetap berada dalam batas toleransi agar proses penyekatan dan perpindahan panas berlangsung secara optimal.

Apabila hasil inspeksi menunjukkan adanya goresan ringan, permukaan yang tidak rata, atau kebocoran yang masih berada dalam batas perbaikan, maka tindakan yang dilakukan adalah proses *lapping*. Proses ini bertujuan mengembalikan kesesuaian bidang kontak antara *Valve face* dan *Valve Seat* menggunakan pasta abrasif (*lapping compound*). Selama proses *lapping*, katup diputar secara perlahan dengan tekanan yang seragam hingga terbentuk pola kontak yang merata pada seluruh permukaan dudukan katup. Setelah proses selesai, seluruh sisa pasta abrasif harus dibersihkan secara menyeluruh agar tidak menimbulkan keausan abrasif pada saat mesin kembali dioperasikan.

Berikut adalah tujuan dari metode *lapping* yaitu:

1. *Lapping* memastikan *Valve* dapat menutup rapat sehingga tekanan kompresi dan gas pembakaran tidak bocor.
2. Meratakan permukaan kontak Proses ini menghilangkan goresan atau ketidakrataan kecil pada permukaan *Valve* dan seat agar kontak terjadi secara merata 360°.
3. Mencegah keausan dini Kontak yang tidak merata dapat menyebabkan tekanan berlebih di satu titik. *Lapping* membantu menyebarkan tekanan secara merata, sehingga umur *Valve* lebih panjang.
4. Menjamin kerja mesin yang optimal *Valve* yang menutup dengan baik membuat pembakaran lebih sempurna, tenaga mesin stabil, dan mesin bekerja lebih andal.



Gambar 4. 13 Penanganan kebocoran *Valve Seat*

Apabila kerusakan telah menyebabkan perubahan geometri *Valve Seat*, seperti perubahan sudut dudukan, terbentuknya alur keausan (*grooving*), atau *pitting* yang cukup dalam, maka proses *lapping* tidak lagi mampu mengembalikan kondisi komponen. Dalam kondisi tersebut dilakukan proses *recutting* atau *re-machining* menggunakan *Valve Seat cutter* maupun mesin pemesin khusus. Tujuan proses ini adalah membentuk kembali sudut, lebar bidang duduk, dan konsentrisitas *Valve Seat* sehingga sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Setelah pemesinan selesai, umumnya dilakukan *lapping* ringan untuk memperoleh bidang kontak yang lebih halus dan memastikan kualitas penyekatan.

Pada kerusakan yang telah melampaui batas toleransi, seperti retak termal, deformasi permanen, korosi berat, atau keausan yang menyebabkan dimensi *Valve Seat* tidak dapat dipulihkan melalui pemesinan, tindakan yang direkomendasikan adalah penggantian *Valve Seat insert*. Penggantian dilakukan dengan melepas *Valve Seat* lama menggunakan metode yang sesuai agar tidak merusak dudukan pada *Cylinder Head*. Selanjutnya dipasang *Valve Seat insert* baru dengan metode *interference fit (press fit)* sesuai prosedur pabrikan. Metode pemasangan ini bertujuan menghasilkan ikatan yang kuat serta memastikan perpindahan panas dari katup menuju *Cylinder Head* berlangsung secara efektif.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melaksanakan penelitian diatas kapal dan menganalisa permasalahan pada bab sebelumnya terkait penyebab terjadinya kebocoran *seating Valve Cylinder Head* pada mesin induk di Tugboat MARTHA INDAH maka penulis menarik kesimpulan mengenai:

1. Hasil pengukuran dimensi *Valve Seat* pada *Cylinder Head* nomor 1 menunjukkan bahwa nilai diameter dan *clearance* masih berada dalam batas *allowable limit* sesuai spesifikasi pabrik. Meskipun demikian, hasil pengukuran pada *intake Valve Seat* menunjukkan nilai yang telah mendekati batas maksimum toleransi, sehingga komponen memerlukan pemantauan dan pemeriksaan berkala untuk mencegah terjadinya penurunan kemampuan penyekatan pada ruang bakar.
2. Dari Hasil pengujian kebocoran menggunakan *Test Pressure* dan media solar menunjukkan adanya kebocoran pada *Valve Seat*. Berdasarkan hasil inspeksi visual, ditemukan keausan pada permukaan bidang kontak (*seating surface*) yang menyebabkan penyekatan antara *Valve* dan *Valve Seat* tidak lagi berlangsung secara sempurna. Penanganan yang dilakukan melalui proses *lapping* serta penggantian *Valve Seat* yang telah mengalami keausan mampu mengembalikan kualitas bidang kontak sehingga kebocoran dapat diatasi dan performa *Cylinder Head* kembali optimal.
3. Penyebab utama kebocoran *Valve Seat* dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu penggunaan komponen yang telah melebihi *running hours*, penurunan kualitas oli pelumas, peningkatan temperatur kerja (*overheating*), serta terjadinya keausan adhesif (*adhesive wear*) pada permukaan *Valve Seat*. Faktor-faktor tersebut menyebabkan berkurangnya kemampuan penyekatan ruang bakar sehingga tekanan kompresi menurun dan kinerja mesin induk menjadi kurang optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada *Seat Valve Cylinder Head* Peneliti memberikan saran yaitu sebagai berikut :

1. Selalu melakukan pemeriksaan terhadap *exhaust Valve* mengacu pada PMS (*Planning Maintenance System*) agar perawatan dapat optimal dan pemantauan terhadap *temperature* gas buang, apabila *temperature* terlalu tinggi maka segera periksa dan mencari penyebab dan mengambil tindakan penanggulangannya.
2. Pada setiap pekerjaan *overhaul Cylinder Head*, teknisi disarankan melakukan inspeksi visual, pengukuran *clearance Valve Seat*, pengujian *test pressure*, serta pemeriksaan kualitas bidang kontak antara *Valve* dan *Valve Seat*. Apabila hasil pemeriksaan menunjukkan keausan yang telah melampaui batas toleransi, maka komponen sebaiknya segera diperbaiki melalui proses *lapping*, *recutting*, atau diganti dengan suku cadang yang memenuhi spesifikasi pabrikan guna menjamin keandalan mesin.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis terhadap pengaruh kualitas pelumas, temperatur operasi, tekanan pembakaran, karakteristik material *Valve Seat*, serta analisis tribologi menggunakan metode pengujian laboratorium atau analisis mikroskopis permukaan. Dengan demikian, mekanisme terjadinya kebocoran *Valve Seat* dapat dipahami secara lebih mendalam dan menjadi dasar dalam penyusunan strategi pemeliharaan yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Daffa Izaz Rafi Afif Fauzi Yusr, Pengaruh Kebocoran Sistem Pendingin pada *Seating Exhaust Valve Cylinder* No 1 terhadap Kinerja Diesel Engine Generator di KM. Oriental Galaxy, J-Proteksion Vol. 10 No. 1 Agustus 2025.
- Maridjo, I. Y. A. R. (2024). Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 73–78.
- Cerdoun, M., Khalfallah, S., Beniaiche, A., & Carcasci, C. (2020). *Investigations on the heat transfer within intake and exhaust Valve s at various engine speeds. International Journal of Heat and Mass Transfer*, 147, 119005.
- Wahyu Kiki Nurhidayat, Mustholiq, Riyadini Utari, Budi Cahyono (2024). *Optimizing Seating & Spindle Exhaust Valve Main Engine Maintenance on MV*. Lumoso Pratama.
- Shamsudeen, A., Abdullah, S., Ariffin, A.K., Rasani, M.R.M., & Ali, Y. (2022). *Design and Simulation of a Cylinder Head Structure for a Compressed Natural Gas Direct Injection Engine. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 9, 1620-1629.
- Itu, C., et al. (2022). *Considerations about the Thermal Requirements of the Cylinder Heads of Air-Cooled Compression Ignition Engines Used in the Construction Industry. Ovidius University Annals of Constanța – Series Civil Engineering*, 24(1), 70-79.
- Ulian, T.-M. & Donțu, A.I. (2021). “*Cylinder Head Analysis from Thermal Point of View Using Finite Element Method (FEM) of a Spark Ignition Engine by Using Zonal Cooling Principle.*” *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Machine Constructions Section*, 67(1), 29-33.
- Gong, Jinke; He, Wei; Zhong, Chao; Tian, Yinghua. (2023). “*Finite Element Analysis of Diesel Engine Cylinder Head Based on Thermosetting Coupling.*” *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 44(2).
- Gai, Hong-wu; Cheng, Ying; Yao, Xiu-gong. (2022). “*Influence of the cylinder head structure of a diesel engine on fatigue strength.*” *Journal of Beijing Institute of Technology*, 23(2): 184-189.

- Koyanagi, Y. & Kawaguchi, S. (2022). *Introduction of Exhaust Valve Spindle Material "DSA760."* *Journal of the Marine Engineering Society in Japan*, 57(5), 567-570.
- Honcú, J. (2004). *The spring of internal combustion engine Valve mechanism.* *Research in Agricultural Engineering*, 50(4):156-159.
- Holenko, K. E., Vychavka, A. A., Dykha, M. O., & Dytyniuk, V. O. (2024). *Finite-element analysis of contact characteristics and friction modes of the "Valve -guide" of the internal combustion engine.* *Problems of Tribology*, 29(3/113), 43-55
- Crozet, M., Berthier, Y., Saulot, A., Jones, D., & Bou-Saïd, B. (2021). *Valve -seat components in a diesel engine: a tribological approach to limit wear.* *Mechanics & Industry*, 22, Article 44.
- Muzakkir, S.M. (2021). *Kinematic, Dynamic and Tribological Analysis of Push Rod Type Valve System.* *International Journal of Advance Industrial Engineering*, 3(2), 54-59.
- Kirti, R. (2023). *Finite Element Analysis of a Rocker Arm of a Diesel Engine Using Radioss Linear.* *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 6 Issue 10.
- I Made G. Karohika, Shigeyuki Haruyama, I Nyoman Gde Antara, I Nyoman Budiarsa, I Made Dwi Budiana Penindra. (2020). *Sealing Performance Layered Metal Gasket Based on the Simulation Method.* *TEKNIK*, 41(1).
- Lee, J.-S., Tho, Y.-C., Kim, J.-C., Kim, J.-S., & Oh, G.-H. (2007). *Study of Sealing Mechanism to Prevent Oil Leakage for the Thermoplastic Cylinder Head Cover.* SAE Technical Paper 2007-01-0566.
- Rosyidi, E., Wibisono, A., Setiawan, R., Sugihartanti, N.P., Siregar, J.P., & Hafidz Satria Pratama, H.S. (2025). *Reducing reject cotter Valve skyrocketing Cylinder Head parts in retainer press machine process in the automotive industry.* *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 17(1), 59-68.

Wei Junhui, Zhang Chuan, Jing Hongtao, Wang Wei, Tu Zhixiong, She Xiaomei, & Zou Yan. (2021). *Analysis of Double Seat Seal of Ultra High Pressure Flat Gate Valve*. *Advances in Applied Sciences*, 6(4), 110-115. DOI:10.11648/j.aas.20210604.16.

Crozet, M., Berthier, Y., Saulot, A., Jones, D., & Bou-Saïd, B. (2021). *Valve -seat components in a diesel engine: a tribological approach to limit wear*. *Mechanics & Industry*, 22, Article 44.

Długołęcki, P., et al. (2021). *High Performance Valve Seat Materials for CNG Powered Combustion Engines*. *Materials*, 14(17):4860.

Liang, X., Strong, G., Eickmeyer, D., & Myers, K. (2021). *A Study of Valve Seat Insert Wear Mechanisms*. SAE Technical Paper 2021-01-3673

National Institute of Standards and Technology (NIST). (n.d.). *Wear Mechanisms in Natural Gas Engines: Valve and Valve -Seat Wear*. NISTIR 90-4264.

Vera-Cárdenas, E.E., Lewis, R., & Slatter, T. (2023). *Sliding Wear Study on the Valve -Seat Insert Contact*. *Open Journal of Applied Sciences*, 7(2), 42-49

Marquardt, L., et al. (2023). *Influence of Valve -Seat Angles to Operation Values and Emissions of Medium-Speed Diesel Engines*. *Acta Mechanica et Automatica*, 17(2), 173-179.

Li, G., Gu, F., Wang, T., Lu, X., Zhang, L., & Zhang, C. (2023). *An Improved Lubrication Model between Piston Rings and Cylinder Liners with Consideration of Liner Dynamic Deformations*. *Energies*, 10(12), 2122.

Mian, M. A. (2021). *Design and Analysis of Engine Lubrication Systems*. SAE Technical Paper 970637.

Sherrington, C., et al. (2021). *Experimental Measurement of the Time-Based Development of Oil Film Thickness, Lubricating Film Extent and Lubricant Transport in Crosshead Engines*. *Lubricants*, 9(1), 4.

Strong, G., & Liang, X. (2021). *Review of Valve Seat insert material properties required for success*. Conference Paper.

“Valve Seats – inserts for modern engines” (Technical Guide). Engine Builder / Dura-Bond Bearing Co.

Plewa, K., & Żurek, J. (2021). *High Performance Valve Seat Materials for CNG Powered Combustion Engines*. *Materials*, 14(17), 4860.

MS Motorservice Product Information. “*Valve Seat inserts / materials & applications.*”

Joko Subektia, Waris Wibowo, Ningrum Astriawati, Muhammad Hamzah Fadholi (2022). Optimalisasi Perawatan Sistem Pendingin Mesin Utama Tipe Hansin GLU28AG pada Kapal .

Purjiyono, Astriawati, N., & Santosa, P. S. (2024). Perawatan Sistem Pelumasan Mesin Utama pada Kapal KM. Mutiara Sentosa II. *Jurnal Teknovasi Jurnal Teknik dan Inovasi*, 6(1), 74–80.

Pendhi, P. (2024). Analisis Penurunan Kinerja Heat Exchanger Pendingin Air Tawar Terhadap Mesin Induk Di Kapal MV. OMSBromo. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

Stanivuk, T.; Lalić, B.; Žanić Mikuličić, J.; Šundov, M., “Simulation Modelling of Marine Diesel Engine Cooling System”, *Transactions on Maritime Science*, Vol. 10 No. 1, 2021.

Kang, B.-S.; Lim, Y.-S.; Jo, K.-J., “A Study of the High Efficiency Sea Water Cooling System for the Propulsion Diesel Engine of Warships”, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 39, No. 4, pp. 468-472, 2021.

Demianus W. Sroyer, M. Zaki Latif Abrori, Sigit D.P. Sidhi, “Perawatan Fresh Water Cooler Pada Sistem Pendinginan Mesin Diesel Penggerak Generator Listrik di Kapal Navigasi Milik Distrik Navigasi Kelas I Ambon”, *Aurelia Journal*, Vol. 1(1), 2

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisa Penyebab Kebocoran *Seating Cylinder Head*
 Kapal Thug Boat Martha Indah
 Nama : Kevin Yudha Pratama
 Npm : 2207230032
 Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	11/11/25	Perbaiki bab I	f
2.	21/11/25	Perbaiki format	f
3.	2/12/25	Acc simpul	f
4.	21/3-26	Perbaiki bab II	f
5.	15/5/26	Perbaiki bab III, IV	f
6.	17/6/26	Acc semesta	f
		Acc pidang	f



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Pp/PT/III/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.ac.id](#) [umsu.ac.id](#) [umsu.ac.id](#) [umsu.ac.id](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2133/II.3AU/UMSU-07/E/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 25 Oktober 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : KEVIN YUDHA PRATAMA
Npm : 2207230032
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENYEBAB KEBOCORAN SEATING CYLINDER
HEAD KAPAL THUGBOAT MARTHA INDAH .

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR ST.MT .

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 02 Jumadil Awal 1447 H
25 Oktober 2025 M



Dr. Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN/NUPTK:0101017202/7433750651131152



UMHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Pp/PT/III/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238

<https://fatek.umsu.ac.id>

fatek@umsu.ac.id

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

Nomor : 1271/IL.3-AU/UMSU-07/F/2026
Lamp : -
Hal : Undangan Seminar Hasil Tugas Akhir

Medan, 29 Muharram 1448 H
14 Juli 2026 M

Kepada: Yth.Sdr.

1. Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T. (Dosen Pembimbing - I)
2. Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. (Dosen Pembimbing - I)
3. Arya Rudi Nasution, S.T., M.T. (Dosen Pembimbing - II)

di-

Medan.

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum Wr. W.b.

Dengan hormat, sesuai dengan persyaratan akademik yang telah dipenuhi, maka melalui surat ini kami mengundang Saudara untuk menghadiri Seminar Hasil Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas nama mahasiswa yang tersebut di bawah ini:

Nama : Kevin Yudha Pratama
NPM : 2207230032
Jurusan : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisa Peyebab Kebocoran Seating Cylinder Head Kapal Thugboat Martha Indah

InsyaAllah akan dilaksanakan pada:

Hari / tanggal : Senin / 20 Juli 2026
Waktu : 10.00-Selesai Wib
Tempat : Fakultas Teknik UMSU Lantai III Gd G

Demikian undangan ini kami sampaikan atas perhatian saudara kami ucapkan terima kasih. Akhirnya selamat dan sejahteralah kita semua Amin.



Wassalam
Dekan,

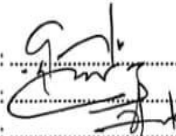
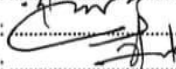


Ir. Ade Faisal, ST, M.Sc., Ph.D.
NIDN. 0123097203

**DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026**

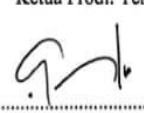
Nama : Kevin Yudha Pratama
NPM : 2207230032
Judul Tugas Akhir : Analisa Penyebab Kebocoran Seating Cylinder Head Kapal Thugboat Martha Indah

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T. : 
Pembimbing - I : Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. : 
Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T. : 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230036	Muhammadarif Sulta	1. 
2	2207230013	Muhammad Ferdiansyah .s	2. 
3	2207230053	Dwi Rizki ARDANA	3. 
4	2207230004	Dwi Wansyah	4. 
5	2207230036	AHLAD NAWALY ME	5. 
6	2307230006	Ardiansyah Mude	6. 
7	2207230003	Ezra Tri Wira Pranata	7. 
8	2207230056	Ranatha Lela Pancha	8. 
9	2207230016	DIDIK PRATO MO	9. 
10	2207230122	M. KHOWAN DZAKI RAFIF	10. 

Medan, 14 Juli 2026
Ketua Prodi. Teknik Mesin

()

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Kevin Yudha Pratama
NPM : 2207230032
Judul Tugas Akhir : Analisa Penyebab Kebocoran Seating Cylinder Head Kapal Thugboat Martha Indah
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
☒ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Saran Perbaikan sesuai Catatan pd Seminar

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin


(.....)

Medan, 14 Juli 2026
Dosen Pembimbing - I


Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Kevin Yudha Pratama
NPM : 2207230032
Judul Tugas Akhir : Analisa Peycbab Kebocoran Seating Cylinder Head Kapal Thugboat Martha Indah
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (colloquium)
- ☒ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
- ☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Silahkan Perbaiki dengan Catatan yang Tertera

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 14 Juli 2026
Dosen Pembimbing - II


Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: KEVIN YUDHA PRATAMA
Alamat	: KOMP. EMERALD RESIDENCE A1
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Umur	: 21 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Tempat, Tanggal Lahir	: JAKARTA, 11 DESEMBER 2004
Tinggi Dan Berat Badan	: 170cm/71kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
No. Telepon	: +62 823-1116-1978

B. ORANG TUA

Nama Ayah	: SRIMULYANTO
Agama	: Islam
Nama Ibu	: SAIDAH S.SOS
19Agama	: Islam
Alamat	: KOMP. EMERALD RESIDENCE A1

C. LATAR BELAKANG PENDIDIKAN

2010-2016	: SD Negeri 060948 Labuhan
2016-2024	: SMP Negeri 20 Medan
2024-2022	: SMA Negeri 16 Medan
2022-2026	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara