



**IDENTIFIKASI SEBAB DAN AKIBAT DETONASI
PADA PROSES PEMBAKARAN PADA MAIN ENGINE
DAN PENANGANANYA DI MV. TANTO HEMAT**

SKRIPSI

**Untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Pelayaran pada
Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang**

Oleh

ILHAM MAULANA

561911217224 T

**PROGRAM STUDI TEKNIKA DIPLOMA IV
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN
SEMARANG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

DISUSUN OLEH : ILHAM MAULANA

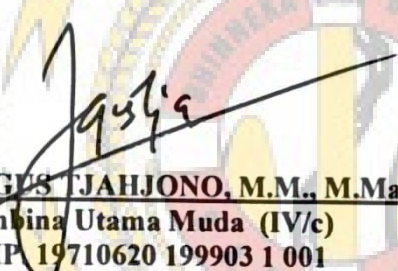
NIT. 561911217224 T

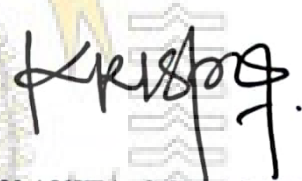
Telah disetujui dan diterima, selanjutnya dapat diujikan di depan Dewan Penguji

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, 24 Juli 2023.....

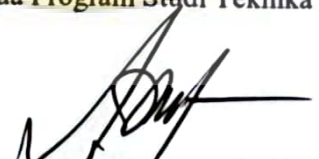
Dosen Pembimbing I
Materi

Dosen Pembimbing II
Metodelogi dan Penulisan


Dr. A. AGUS TJAHJONO, M.M., M.Mar.E
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 19710620 199903 1 001


KRISTIN ANITA, S.ST., M.MM.
Pembina Tingkat I (IV/a)
NIP. 19800602 200212 2

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknika


AMAD NARTO, M.Pd, M.Mar.E
Pembina (IV/a)
NIP. 19641212 199808 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul " Identifikasi Sebab dan Akibat Detonasi Pada Proses Pembakaran Pada Main Engine Dan Penanganannya Di MV. Tanto Hemat " karya,

Nama : Ilham Maulana

NIT :561911217224 T

Program Studi : Teknika

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji Skripsi Prodi teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang pada hari, tanggal 21.....AGUSTUS 2023

Semarang, 21.....AGUSTUS 2023

PENGUJI

Penguji I : AMAD NARTO, M.Pd, M.Mar.E
Pembina (IV/a)
NIP. 19641212 199808 1 001

Penguji II : Dr. A AGUS TJAHJONO, M.M., M.Mar.E
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 19710620 199903 001

Penguji III : Ir. FITRI KENSIWI, M.Pd
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19660721 199203 2 001

Mengetahui,

Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Dr. Capt. Tri Cahyadi M.H., M.Mar
Pembina Tk.I (IV/b)
NIP. 19730704 199803 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilham Maulana

N I T : 561911217224 T

Program studi : Teknika

Skripsi dengan judul **"IDENTIFIKASI SEBAB DAN AKIBAT DETONASI PADA PROSES PEMBAKARAN PADA MAIN ENGINE DAN PENANGANANYA DI MV. TANTO HEMAT"**

Dengan ini saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya (penelitian dan tulisan) sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat dan temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 29 JULI 2023

Yang membuat pernyataan,



ILHAM MAULANA

NIT. 561911217224 T

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Moto :

1. Semakin sulit sebuah perjuangan makin undahlah suatu kemenangan.
2. Sesungguhnya manisnya hidup akan terasa setelah melewati perjuangan yang melelahkan
3. Berikanlah hak otakmu untuk berfikir agar kamu menjadi orang – orang yang bersyukur. (Ilham, 2023)

Persembahan :

1. Kepada kedua orang tua, Bapak Purwanto dan Ibu Nur Aini Khabiba yang senantiasa merawat, mendukung, mendoakan, menasihati, dan mengupayakan apapun termasuk semuanya untuk keberlangsungan kehidupan peneliti dengan baik.
2. Kepada Bapak. Dr. A Agus Tjahjono, M.M.,M.Mar.E., selaku Dosen Pembimbing Materi dan Ibu Dr. Kristin Anita Indriyani, S.ST,M.MM selaku Dosen Metode Penelitian dan Penulisan.
3. Kepada sahabat serta rekan saya dikelas Teknika Alpha, dan Angkatan LVI

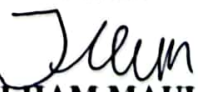
PRAKATA

Segala puji dan rasa syukur terucap kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat, karunia dan rahmat-Nya, sehingga peneliti diberi kemudahan dalam menyelesaikan dan menuntaskan penulisan skripsi yang berjudul **“IDENTIFIKASI SEBAB DAN AKIBAT DETONASI PADA PROSES PEMBAKARAN PADA MAIN ENGINE DAN PENANGANANYA DI MV. TANTO HEMAT”**. Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan pendidikan dalam memperoleh gelar Sarjana Terapan Pelayaran (S.Tr.Pel) pada program pendidikan Diploma IV program studi Teknika di Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang. Dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini, peneliti mendapat banyak dukungan, dan bantuan dari banyak pihak. Sehingga, dengan penuh rasa hormat peneliti menyampaikan banyak ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Capt. Tri Cahyadi M.H., M.Mar. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
2. Bapak Amad Narto, M.Pd, M.Mar.E selaku Ketua Program Studi Teknika Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
3. Bapak Dr. A Agus Tjahjono, M.M., M.Mar.E selaku Dosen Pembimbing Materi Penulisan Skripsi yang dengan memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Kristin Anita Indriyani, S.ST., M.MM., selaku Dosen Pembimbing Penulisan yang dengan tanggung jawab memberikan arahan dalam penyusunan skripsi.
5. Keluarga besar *batch* LVI, yang selalu kompak dan selalu memberikan lingkungan *supportif*. Teknika Alpha yang telah menjadi keluarga terdekat selama awal masa pendidikan.

Semarang, 21-08-2023

Penulis


ILHAM MAULANA

561911217224 T

ABSTRAKSI

Ilham Maulana, 2023, 561911217224 T, “*Identifikasi sebab dan akibat detonasi pada proses pembakaran pada main engine dan penanganannya di MV. Tanto Hemat*”, Skripsi Program Studi Teknika, Program Diploma IV, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Pembimbing I : Dr. A Agus Tjahjono, M.M.,M.Mar,E., dan Pembimbing II : Kristin Anita Indriyani, S.ST,M.MM.,

Main engine adalah mesin yang paling utama dalam suatu kapal, yaitu untuk penggerak suatu kapal. Dalam proses berlayar *main engine* harus selalu terjaga dengan keadaan prima untuk menunjang kelancaran berlayarnya suatu kapal. Pada *main engine* sering terjadi keanehan atau hal yang tidak biasa terjadi pada *main engine*, salah satunya yaitu *knocking*. *Knocking* atau yang sering disebut dengan detonasi adalah proses pembakaran pada mesin yang tidak tepat pada waktunya. Detonasi ini bisa berdampak buruk pada kondisi *main engine* di kapal karena dapat merusak *spare part* yang ada pada *main engine*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi detonasi yang terjadi pada *Main engine*, menganalisis sebab dan akibat terjadinya detonasi, menganalisis strategi pencegahan detonasi yang terjadi pada *Main engine*

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kualitatif. Sumber data penelitian diperoleh dari teknik pengumpulan data melalui observasi, studi pustaka, dokumentasi, teknik keabsahan data menggunakan validitas internal. Metode SWOT untuk menganalisa berbagai faktor yang dapat dijadikan pilihan dalam mengoptimasi detonasi secara sistematis terhadap kekuatan (*Strenghts*), kelemahan (*Weaknesses*), peluang (*Opportunities*), serta ancaman (*Threats*) untuk merumuskan strategi yang akan diambil

Hasil penelitian identifikasi detonasi yang terjadi pada *main engine* yaitu terjadi *ignition delay*, peningkatan suhu gas buang yang tidak normal, terjadi *pre ignition* pada *main engine*. Faktor yang menyebabkan detonasi pada mesin induk yaitu kualitas bahan bakar yang buruk, tekanan dan suhu yang tinggi di dalam ruang bakar mesin, *timing* dari pembakaran yang tidak tepat. Dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya detonasi pada *main engine* yaitu detonasi akan menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, kerusakan dari *spare part* mesin, penumpukan karbon pada ruang bakar. Strategi penanggulangan detonasi pada *man engine* dengan melakukan pembersihan ruang bakar dari karbon secara berkala, penambahan tekanan *injector* menjadi 300 bar, lakukan pengecekan kualitas bahan bakar.

Kata Kunci : Identifikasi, *timing*, detonasi, *knock*

ABSTRACT

Ilham Maulana, 2023, 561911217224 T, "Identification of the cause and effect of detonation in the combustion process in the main engine and its handlers in MV. Tanto Hemat", Thesis of Engineering Study Program, Diploma IV Program, Semarang Shipping Science Polytechnic, Supervisor I : Dr. A Agus Tjahjono, M.M., M.Mar, E., and Supervisor II : Kristin Anita Indriyani, S.ST, M.MM.,

The main engine is the most important engine in a ship, which is for the propulsion of a ship. In the process of sailing, the main engine must always be maintained in prime condition to support the smooth sailing of a ship. In the main engine, there are often strange or unusual things that happen to the main engine, one of which is knocking. Knocking or often referred to as detonation is the combustion process in the engine that is not right on time. This detonation can have a bad impact on the condition of the main engine on the ship because it can damage the spare parts on the main engine. The purpose of this study is to identify detonation that occurs in the Main engine, analyze the cause and effect of detonation, analyze the strategy of preventing detonation that occurs in the Main engine.

The research method used in this study is qualitative method. Research data sources are obtained from data collection techniques through observation, literature studies, documentation, data validity techniques using internal validity. SWOT method to analyze various factors that can be used as an option in systematically optimizing detonation of strengths (Strenghts), weaknesses (Weaknesses), opportunities (Opportunities), and threats (Threats) to formulate strategies to be taken

The results of the study identified detonation that occurred in the main engine, namely ignition delay, abnormal increase in exhaust gas temperature, pre-ignition in the main engine. Factors that cause detonation in the main engine are poor fuel quality, high pressure and temperature in the engine combustion chamber, timing of improper combustion. The impact caused by detonation on the main engine is that detonation will cause an increase in fuel consumption, damage from engine spare parts, carbon buildup in the combustion chamber. The strategy to overcome detonation in the man engine by cleaning the combustion chamber from carbon regularly, increasing the injector pressure to 300 bar, checking fuel quality.

Keywords : Identification, timing, detonation, .knock

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAKSI	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Fokus Penelitian	5
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Hasil Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Deskripsi Teori	7
B. Kerangka Penelitian	22
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Metode Penelitian	24
B. Tempat Penelitian	25
C. Sampel Sumber Data Penelitian/Informan	25
D. Teknik Pengumpulan Data	28
E. Instrumen Penelitian	29
F. Teknik Analisis Data Kualitatif	31
G. Pengujian Keabsahan Data	40

BAB IV HASIL PENELITIAN

A. Gambaran Konteks Penelitian.....	41
B. Deskripsi Data.....	51
C. Temuan.....	52
D. Pembahasan Hasil Penelitian	57

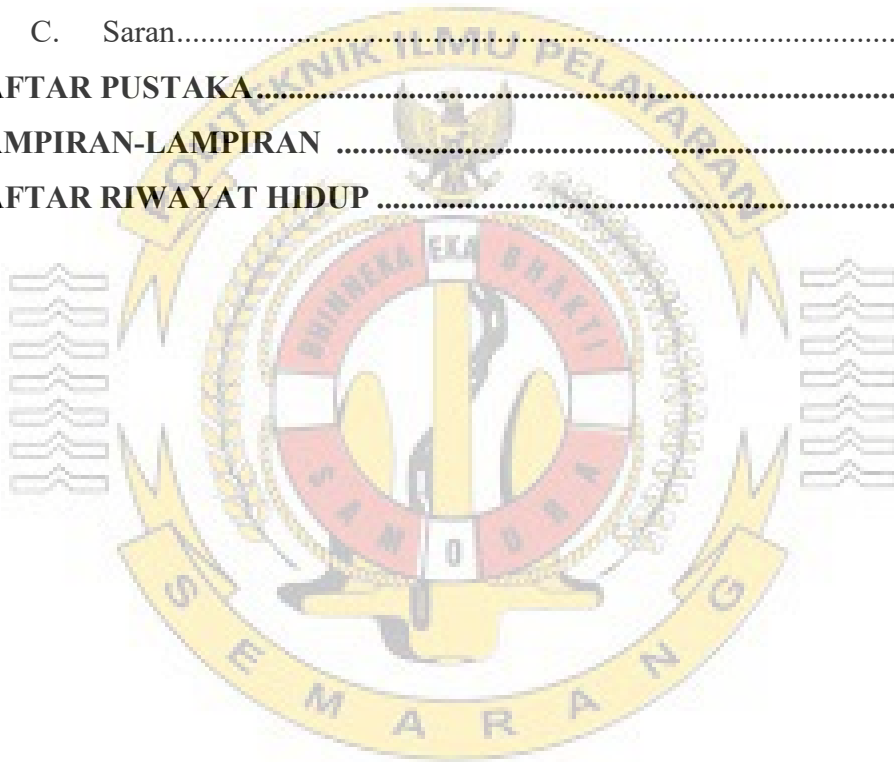
BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	67
B. Keterbatasan Penelitian.....	68
C. Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA.....	70
----------------------------	-----------

LAMPIRAN-LAMPIRAN	74
--------------------------------	-----------

DAFTAR RIWAYAT HIDUP	80
-----------------------------------	-----------



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Faktor Internal dan Eksternal.....	32
Tabel 3.2. Faktor strategi EFAS dan IFAS	33
Tabel 3.3. Variabel SWOT.....	38
Tabel 4.1. Gambaran umum kapal	52
Tabel 4.2. Hasil SWOT internal.....	61
Tabel 4.3. Hasil SWOT eksternal	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema mesin diesel injeksi langsung dan tidak langsung.....	8
Gambar 2.2 Sistem bahan bakar mesin induk.....	13
Gambar 2.3 Detonasi pada <i>cylinder</i>	14
Gambar 2.4 <i>Injector</i>	16
Gambar 2.5 Kerangka penelitian.....	22
Gambar 3.1 Diagram analisis SWOT	36
Gambar 4.1 Susunan <i>gear</i> pada <i>main engine</i>	43
Gambar 4.2 Pompa bahan bakar bertekanan tinggi	44
Gambar 4.3 <i>Overhaul cylinder head</i>	53
Gambar 4.4 Pengetesan tekanan injector	54
Gambar 4.5 Penyetelan ulang <i>timing gear</i>	55
Gambar 4.6 Peta kuadran SWOT	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Tally mark</i> pompa bahan bakar bertekanan tinggi	74
Lampiran 2	Kerusakan <i>valve</i>	74
Lampiran 3	<i>Overhaul cylinder head</i>	75
Lampiran 4	Kerusakan <i>crank gear</i>	75
Lampiran 5	Penggantian <i>ring</i> piston.....	76
Lampiran 6	Karbon pada piston.....	76
Lampiran 7	Presentase responden tiap kelas T7A hingga T7D	77
Lampiran 8	Grafik responden pada variabel <i>weakness</i>	77
Lampiran 9	Grafik responden pada variabel <i>strenght</i>	77
Lampiran 10	Grafik responden pada variabel <i>opportunities</i>	78
Lampiran 11	Grafik responden pada variabel <i>threaths</i>	78
Lampiran I2	Spesifikasi MFO.....	78
Tabel 1	Faktor <i>internal</i>	79
Tabel 2	Faktor <i>eksternal</i>	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Armada pengangkut barang atau yang sering kita sebut kargo di Indonesia semakin bertambah setiap tahunnya, armada laut menjadi armada yang paling relevan dikarenakan mampu mengangkut barang dengan kapasitas relatif besar, dengan jalur aman dan tanpa hambatan, tentu juga sangat efisien untuk meningkatkan peredaran atau distribusi dan produksi. Dengan jalur laut kapal bisa mengangkut barang sampai ratusan sampai ribuan ton dalam sekali pelayarannya, maka menggunakan jalur laut perusahaan pengirim dapat mengirim barangnya dengan jangkauan yang sangat luas dan tidak perlu khawatir dengan massa barang yang relatif berat. Tentu saja jika dibandingkan pengiriman skala besar lewat jalur laut dengan jalur lain jika barang harus ke luar pulau akan lebih efisien menggunakan jalur laut. Untuk keselamatan barang pengiriman tentu saja sudah lebih canggih dengan adanya banyak teknologi canggih yang mendukung suatu kapal dan perkiraan cuaca yang selalu update pada setiap pelayarannya.

Kapal *container* adalah salah satu kapal yang mengangkut *cargo* yaitu berupa *container*, *container* terdapat beberapa jenis *container* yang dapat diangkut kapal yaitu *container* 20 feet, *container* 40 feet, *reefer container* dan banyak sebagainya. Kapal *container* mempunyai rancangan khusus agar dalam pelayarannya muatan *container* aman dan terjaga sampai tujuan pelayaran. Dalam penempatan *container* terdapat 2 tempat

yaitu di dalam palka dan diluar palka, *container* yang diletakan di luar palka biasanya *container* yang muatannya tahan akan cuaca sehingga tidak merusak muatan didalamnya. *Container* yang diletakan diluar palka akan diberikan *lashing* agar *container* tidak goyang atau mungkin bisa jatuh ke laut saat pelayarannya. Pada saat proses bongkar dan muat kapal *container* dibantu dengan *crane* yang disediakan oleh pelabuhan, bisa juga dengan menggunakan *crane* dari kapal *container* tersebut sendiri, *Container* akan disusun menurut berat dan panjang *container* tersebut agar untuk keselamatan awak kapal dan tentu saja untuk keselamatan muatan juga, penyusunan *container* disusun oleh perwira kapal yang disebut dengan *bay plan* muatan.

Dalam proses pelayaran tentu kapal memerlukan mesin induk dan permesinan bantu lainnya agar menunjang kelancaran berlayarnya, untuk permesinan bantu sendiri berfungsi untuk membantu berfungsinya mesin induk dan memasok energi listrik pada kapal. Mesin induk yang digunakan oleh kapal *container* yaitu adalah tipe diesel, untuk kapal – kapal dibawah 10. 000 GT biasanya menggunakan mesin induk tipe 4 tak dengan adanya gearbox sebagai sambungan antara *shaft main engine* dengan *shaft propeller* dan kapal – kapal diatas 10. 000 GT biasanya menggunakan *main engine* tipe 2 tak, untuk 2 tak sendiri *shaft main engine* menjadi satu dengan *shaft propeller* jadi untuk manuver kapal lebih cepat menggunakan mesin induk 4 tak karena ada bantuan *gear box* untuk *shaft propeller*. Setiap tipe mesin mempunyai kekurangan dan kelebihanannya masing-masing untuk

olah gerak pada suatu kapal.

Main engine adalah mesin yang paling utama dalam suatu kapal, yaitu untuk penggerak suatu kapal. Dalam proses berlayar *main engine* harus selalu terjaga dengan keadaan prima untuk menunjang kelancaran berlayarnya suatu kapal. Tentu saja jika *main engine* rusak atau dalam keadaan tidak prima pelayaran akan terhambat dan kapal pun tidak bisa melanjutkan pelayarannya. Dalam mencegah kerusakan pada *main engine* perawatan dan pemeliharaan harus selalu dilakukan baik itu saat sandar, berlabuh maupun saat berlayar. Perawatan *main engine* membutuhkan ilmu dari masinis yang berkompeten untuk terciptanya kelancaran dan pencegahan kerusakan pada *main engine*.

Pada *main engine* sering terjadi keanehan atau hal yang tidak biasa terjadi pada *main engine*, salah satunya yaitu *knocking*. *Knocking* atau yang sering disebut dengan detonasi adalah proses pembakaran pada mesin yang tidak tepat pada waktunya, yaitu api yang tiba-tiba menjadi besar dalam proses pembakaran, sehingga proses pembakaran yang tidak sempurna. Untuk penyebabnya sendiri *knocking* mempunyai beberapa hal yang bisa menyebabkan *knocking* itu terjadi. Hal tersebut harus segera diperbaiki karena dampak yang akan ditimbulkan untuk masalah ini adalah dampak yang fatal untuk kondisi *main engine* pada kapal.

Bahan bakar yang terbentuk yang menempel di dinding sulit menguap dan penyalanya tertunda serius. Fenomena pembakaran yang tidak normal seperti *misfire* dan *knock combustion* rawan terjadi, bahkan

bisa menyebabkan *piston* kegagalan abrasi. Pada saat yang sama, emisi polutan pasti meningkat secara signifikan (Wu et al., 2022)

Fenomena *knock* tidak hanya terjadi pada *downsized* mesin diesel, tetapi juga terjadi pada situasi lain yang diharapkan meningkatkan efisiensi termal dengan lebih meningkatkan kompresi rasio atau meningkatkan tekanan. (Xu et al., 2022)

Penyalan spontan dari bagian dari gas akhir yang tidak terbakar (yaitu, gas alam - campuran udara) di depan api depan menghasilkan ketukan mesin. Pelepasan panas yang ekstrim pada akhirnya penyalan otomatis gas menciptakan tekanan berlebih lokal yang kuat dengan substansial amplitudo dan osilasi tekanan berikutnya, yang merusak mesin tubuh. (Yousefi et al., 2020)

Detonasi ini bisa berdampak buruk pada kondisi *main engine* di kapal karena dapat merusak *spare part* yang ada pada *main engine*. Mungkin dampak pada *spare part* tidak bisa dirasakan secara langsung dan pada saat itu juga, akan terdengar suara kasar yang teratur pada setiap pembakarannya jika mesin mengalami *knocking* atau detonasi dan *spare part* akan cepat untuk rusak apabila terus menerus dibiarkan dan tidak ada penanganan lebih lanjut lagi dari para masinis kapal. Maka perawatan mesin akan sangat berpengaruh pada kualitas mesin kapal itu sendiri. Berdasarkan uraian tersebut maka dapat disimpulkan bahwa proses kelancaran operasional kapal bergantung besar pada permesinan kapal, jika mesin induk mengalami detonasi maka mesin harus segera

diperbaiki, proses perbaikan akan mengganggu operasional kapal yang akan berlayar, oleh karena itu perlu dilaksanakan penelitian dengan judul “Identifikasi Sebab Dan Akibat Detonasi Pada Proses Pembakaran Pada *Main engine* dan Penanganannya di MV. Tanto Hemat ”.

B. Fokus Penelitian

Peneliti akan membuat batasan masalah agar ruang lingkup yang dibahas akan fokus tertuju yaitu “Identifikasi Sebab Dan Akibat Detonasi Pada Proses Pembakaran Pada *Main engine* Dan Penanganannya”

C. Perumusan Masalah

Peneliti mendapatkan beberapa masalah yang timbul dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana identifikasi detonasi yang terjadi pada *Main engine*?
2. Apa saja sebab dan akibat terjadinya detonasi?
3. Bagaimanakah strategi pencegahan detonasi yang terjadi pada *Main engine*?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi detonasi yang terjadi pada *Main engine*.
2. Menganalisis sebab dan akibat terjadinya detonasi.
3. Menganalisis strategi pencegahan detonasi yang terjadi *Main engine*.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

- a) Penelitian ini dapat bermanfaat untuk para pembaca agar dapat menambah wawasan terhadap pengetahuan tentang sebab dan akibat detonasi dan penanganannya.
- b) Penelitian ini dapat menambah pengetahuan dan memperluas cakrawala terutama yang berhubungan sebab dan akibat detonasi pada mesin induk kapal serta penanganannya

2. Manfaat Praktis

- a) Bagi perwira dan awak kapal

Penelitian ini diharapkan dapat membantu para masinis dan awak kapal sebagai pertimbangan bagi perwira dan awak kapal untuk memperdalam penguasaan dan dapat diaplikasikan.

- b) Pembaca

Penelitian ini dapat menjadi bahan untuk menambah ilmu dan wawasan para pembaca tentang sebab dan akibat detonasi yang terjadi pada *main engine* dan penanganannya.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Deskripsi Teori

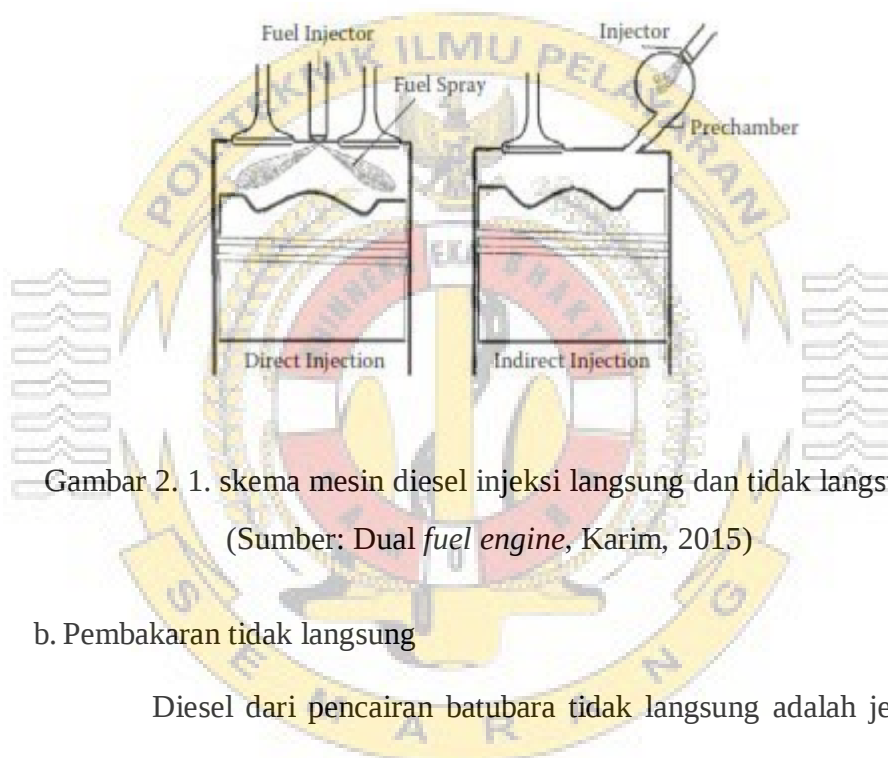
1 Teori Pembakaran

a. Pembakaran Langsung

Mesin diesel injeksi langsung yang memiliki ruang bakar terbuka, banyak digunakan, terutama pada aplikasi mesin diesel dengan lubang besar. Proses pembakaran di mesin ini sebagian besar melibatkan interaksi bahan bakar cair yang diinjeksi dengan udara, yang dibawa secara normal oleh lubang saluran masuk yang ditempatkan dan dibentuk dengan tepat yang mengarahkan udara masuk ke gerakan berputar dan bersirkulasi. Ini kemudian dimodifikasi oleh gerakan *piston*, sisa gas yang ada, perubahan geometri silinder, dan efek perpindahan panas. Interaksi cairan yang berputar tidak dapat dikontrol secara normal dengan baik pada rentang kecepatan dan beban *engine* yang lebar. Setiap saat pengoperasian mesin tidak ada perbedaan tekanan yang signifikan antara berbagai bagian ruangan. (Karim, 2015: 21)

Dalam garis besarnya pembakaran langsung atau lebih sering disebut dengan direct injection yaitu merupakan sistem dimana *injector* berada diatas ruang pembakaran atau *injector* terdapat pada *cylinder head*, sehingga bahan bakar, udara, dan panas langsung terbakar dalam satu ruangan tanpa perlu ruang bakar lain untuk pembakaran, *Piston* pada

pembakaran langsung biasanya dibuat cekung pada tengah untuk mempercepat udara dan efektifitas pembakaran. Untuk aplikasi mesin pembakaran dalam, ada empat sumber panas utama yang perlu dipertimbangkan: gas buang, gas buang resirkulasi (EGR), cairan pendingin mesin, dan pelumas mesin (Voice & Hamad., 2022).



Gambar 2. 1. skema mesin diesel injeksi langsung dan tidak langsung
(Sumber: *Dual fuel engine*, Karim, 2015)

b. Pembakaran tidak langsung

Diesel dari pencairan batubara tidak langsung adalah jenis bahan bakar alternatif yang sangat menjanjikan untuk mengatasi masalah keamanan minyak yang disebabkan oleh ketergantungan yang berlebihan pada minyak impor dan mengurangi emisi polutan (Chen et al., 2022). Pada mesin injeksi tidak langsung (IDI) atau ruang terbagi, bahan bakar diinjeksikan dalam ruang terpisah yang terpasang dan terbuka ke silinder utama. Injeksi bahan bakar, atomisasi, dan penguapan terjadi di ruang awal ini. Selama kompresi, ketika ruang utama berkurang volumenya, udara

dipaksa masuk ke ruang awal. Pada mesin jenis ini, ketika digunakan pada mesin lubang kecil, prechamber dapat mewakili bagian yang signifikan dari volume ruang bebas mesin. Setelah pengapian, campuran yang kaya, produk pembakaran, produk oksidasi parsial, dan bahan bakar yang tidak dikonversi di dalam ruang awal dipaksa sebagai pancaran pembakaran ke lingkungan yang jauh lebih ramping dan udara di ruang utama, memungkinkan pembakaran berlangsung lebih cepat.

Pada pembakaran tidak langsung bahan bakar dan udara masuk pada ruang bakar tambahan pada saat udara dan bahan bakar dimampatkan maka pembakaran yang terjadi pada ruang bakar tambahan akan merambat ke ruang bakar utama di dalam silinder, karena proses pencampuran bahan bakar, udara pada momentum, tekanan injeksi bahan bakar yang relatif lebih rendah. Desain mesin biasanya bertujuan untuk memiliki saluran komunikasi yang mulus dengan bentuk, orientasi, dan ukuran yang tepat sehingga dapat mengurangi kerugian gesekan, termal, dan. Untuk jenis pembakaran sekarang kurang diminati karena memiliki beberapa kekurangan seperti bahan bakar yang digunakan mesin diesel pembakaran tidak langsung lebih boros dibanding pembakaran langsung.

c. *Ignition delay*

Awal pengapian mengikuti awal injeksi dan pembentukan campuran setelah jangka waktu tertentu, penundaan pengapian. Itu tergantung pada bagian fisik, yang terdiri dari pengembangan semprotan, pembentukan campuran dan penguapan bahan bakar, dan bagian kimia yang terbentuk

dan mengarah pada pengapian (Isermann, 2014: 525). Lamanya penundaan pengapian ini sangat penting dan mengontrol kemajuan proses pembakaran dan mempengaruhi sebagian besar aspek kinerja mesin. Penundaan pengapian yang terlalu lama menghasilkan pengurangan torsi dan efisiensi dengan peningkatan emisi. Hasil dari karakteristik spray dan combustion yang ditampilkan adalah penetrasi spray tip yang lebih pendek dan ignition delay yang lebih lama dengan menggunakan heavy fuel oil (Guan et al., 2021). Periode penundaan telah dilihat untuk kenyamanan terdiri dari dua bagian yang tumpang tindih karena waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi proses fisik dan kimia yang menghasilkan pengapian yang berhasil. Secara umum, penundaan bagian kimia cenderung lebih lama daripada bagian fisik, tetapi peristiwa reaksi kimia dipercepat secara eksponensial pada suhu tinggi, sedangkan proses yang bersifat fisik cenderung meningkat dengan suhu yang relatif jauh lebih rendah.

2 Sifat pada bahan bakar

a. Densitas

Densitas terkait dengan kualitas bahan bakar karena bahan bakar yang berasal dari pengolahan kilang ekstensif dibiarkan dengan kandungan karbon yang lebih tinggi, lebih aromatik dan karenanya lebih berat. Oleh karena itu. Pada bahan bakar MFO 180 mempunyai *density* sekitar 991 kg/m³. Kerapatan efektif untuk ukuran partikel yang berbeda dari endaraan diesel yang menggunakan bahan bakar solar dengan kandungan sulfur tinggi (Momeninovahed et al., 2021).

b. Viskositas

Adalah ukuran fluiditas produk pada suhu tertentu. Viskositas bahan bakar berkurang dengan meningkatnya suhu. Viskositas di luar spesifikasi pabrikan dapat menyebabkan pembakaran yang buruk, pembentukan endapan, kesulitan pemompaan, dan kehilangan energi. Viskositas bahan bakar harus berada dalam viskositas yang dibutuhkan di saluran masuk mesin. Pada bahan bakar MFO 180 mempunyai viskositas sekitar 180 mm²/dt. Sifat bahan bakar seperti nilai kalor dan viskositas kinematik mungkin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik performa mesin (Karthickeyan., 2019).

c. Sulfur

Sulfur dalam bahan bakar harus diturunkan ke tingkat yang sangat rendah atau bahkan sangat rendah. Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah menerapkan peraturan ketat tentang konsentrasi belerang dalam bahan bakar minyak laut (Yang et al., 2023). Pada bahan bakar pasti terdapat sulfur didalamnya atau lebih sering disebut dengan kandungan “belerang”. Tingkat *sulfur* yang tinggi akan mempengaruhi pembakaran maupun hasil dari pembakaran itu sendiri, contohnya seperti membuat karbon sisa yang akan menumpuk pada ruang bakar, dan polusi udara yang lebih buruk. Pada bahan bakar MFO 180 mempunyai kandungan *sulfur* 4, 5 % m/m.

d. Titik Tuang

Titik tuang menunjukkan suhu minimum di mana bahan bakar harus disimpan dan dipompa. Suhu di bawah titik tuang menghasilkan

pembentukan lilin. Beberapa bahan bakar memiliki titik tuang yang relatif lebih tinggi dan perlu dipanaskan untuk menghindari pembentukan lilin.

Pada bahan bakar MFO 180 mempunyai titik tuang 30 °C

e. Titik nyala

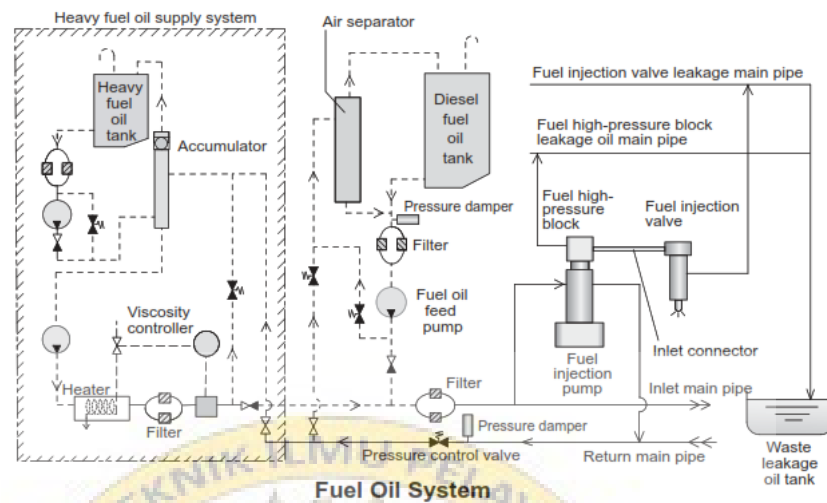
Nilai kalor masing-masing diprediksi oleh viskositas kinematik dan titik nyala (Xiao et al., 2023). Suhu bahan bakar ketika bahan bakar akan terbakar sehingga akan menyulut api di udara. Dalam bahan bakar MFO 180 ini mempunyai titik nyala 60°C. Setiap jenis bahan bakar memiliki titik nyala yang berbeda-beda tergantung pada sifat kimia dan fisika dari bahan tersebut. Titik nyala sangat penting dalam industri minyak dan gas karena dapat memberikan indikasi tentang kemungkinan bahaya kebakaran atau ledakan. Oleh karena itu, titik nyala sering diukur dan dilaporkan dalam lembar data keselamatan.

f. Residu karbon

Residu akan membentuk sebuah karbon dalam pembakaran, karbon pembakaran akan keluar melalui gas sisa pembakaran dan jika karbon terlalu banyak maka sebagian bisa saja tertinggal dalam ruang bakar. Pada bahan bakar MFO 180 mempunyai karbin residu 16 % m/m. Faktor yang mempengaruhi jumlah residu karbon yang dihasilkan meliputi kualitas bahan bakar, kualitas pengapian, dan kondisi mesin secara keseluruhan.

3. Sistem bahan bakar pada *main engine*

Pada *manual book* sudah tertera dan dijelaskan bagaimana sistem bahan bakar *main engine* berjalan, berikut adalah sistemnya:



Gambar 2. 2 sistem bahan bakar mesin induk

Sumber: *Manual instruction daihatsu*

Pada tahap awal mula-mula dalam *manual book* yang berada di atas kapal, bahan bakar bermula pada tangki *service*, kemudian bahan bakar turun menuju *feed oil pump* lalu bahan bakar menuju ke *accumulator* lalu menuju ke *circulation pump* dan dipanaskan melewati filter dan penyaringan kembali oleh filter sebelum ke *main engine* bahan bakar akan melewati filter kembali, lalu menuju ke *fuel injection pump* untuk dipompa oleh *camshaft* dan masuk ke *injector* melewati *inlet connector* penghubung antara *fuel injection pump* dengan *injector*.

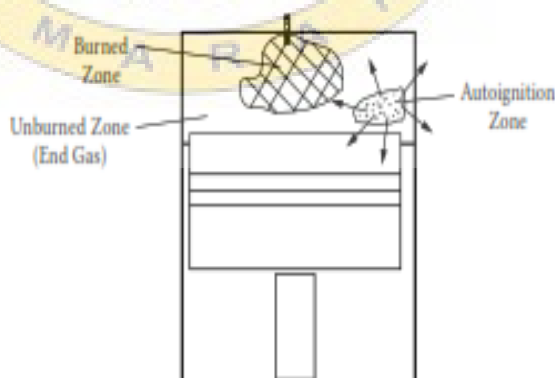
4. Detonasi

a. Pengertian

Detonasi adalah fenomena pembakaran yang tidak normal. Ini hasil dari penyalaan otomatis dari campuran udara, bahan bakar dan sisa gas yang terkompresi di depan api biasa depan atau dari penyalaan permukaan di *hot spot*. Prevalensi ketukan diesel tampaknya sensitif

terhadap tekanan injeksi bahan bakar yang besar dan ruang bakar yang kecil (Wang et al., 2020). Bergantung pada kompresi, suhu, dan bahan bakar, menyebabkan peningkatan tekanan yang kuat dan osilasi tekanan, yang dapat merusak mesin. Sebagai pengapian yang optimal sudut sehubungan dengan efisiensi terbaik mendekati batas detonasi. (Isermann, 2014: 467).

Beberapa faktor harus diperhatikan, seperti kompresi yang lebih rendah, pengapian terbelakang, seperti memburuknya konsumsi bahan bakar dan torsi. Namun, detonasi kontrol untuk masing-masing silinder memungkinkan untuk meningkatkan konsumsi bahan bakar dan torsi serta beradaptasi dengan kualitas bahan bakar yang berbeda, toleransi manufaktur dan penuaan. Kompresi yang rendah akan menyebabkan detonasi dikarenakan udara dan bahan bakar yang dikompresi tidak terbakar sempurna dan menyebabkan ignition delay yang akan berdampak pada mesin diesel.



Gambar 2. 3 detonasi pada *cylinder*

(Sumber: *Dual fuel engine*, Karim, 2015)

5. Parameter yang harus diperhatikan pada mesin yang mengalami detonasi

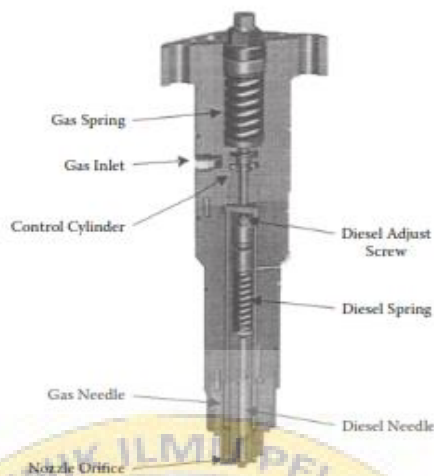
a. Nilai cetane pada bahan bakar

Bahan bakar yang kurang optimal, bahan bakar yang kurang bermutu/ bahan bakar dengan oktan rendah. Jika menggunakan bahan bakar yang kualitas rendah dapat menyebabkan naiknya temperatur dan tekanan di dalam ruang bakar, sehingga sulit terbakar atau terkadang terjadi pembakaran sebelum *timing* injeksi. Dalam setiap bahan bakar terdapat *flash point*/titik nyala yang berbeda-beda, *flash point* sendiri itu adalah suhu terendah pada suatu bahan bakar. Mesin diesel kapal menggunakan 2 jenis bahan bakar yang berbeda baik secara jenis nilai cetane, *viscosity*, maupun titik nyala yaitu MFO dan MDO

Mesin membutuhkan bahan bakar cair yang cocok, dibandingkan dengan percikan api, lebih rentan terhadap penyalan otomatis dan memiliki angka cetane yang tinggi, tetapi pada saat yang sama angka oktannya sangat rendah. Operasi udara berlebih digunakan seluruhnya dengan turbulensi yang intens dan aksi cairan berputar yang disediakan untuk membantu, penguapan, dan pencampuran bahan bakar dan udara selanjutnya. (Karim, 2015: 19)

b. *Injector*

Dalam detonasi *injector* dapat menjadi penyebab utama, karena alat pengabut bahan bakar dalam mesin diesel ini akan mengabutkan bahan bakar yang menjadi salah satu syarat terciptanya suatu pembakaran di dalam mesin.



Gambar 2. 4 injector

(Sumber: *Dual fuel engine*, Karim, 2015)

Dalam detonasi *injector* dapat menjadi penyebab utama, karena alat pengabut bahan bakar dalam mesin diesel ini akan mengabutkan bahan bakar yang menjadi salah satu syarat terciptanya suatu pembakaran di dalam mesin. Dalam kinerjanya *injector* akan mengabutkan tekanan sekitar 300 kg/cm^2 agar memperoleh pengabutan bahan bakar yang sempurna. Bahan bakar yang mengabut akan membuat pembakaran pada silinder akan menjadi merata. Bahan bakar yang berupa kabut akan lebih mudah terbakar dibandingkan dengan bahan bakar yang masih berupa zat cair. Setelah melewati 1000 jam harus dicabut dan dilakukan perbaikan dan pengetesan ulang tekanan.

Beberapa tindakan lain dapat mencakup memberikan perhatian yang lebih besar terhadap kebersihan dan kualitas bahan bakar cair yang digunakan, termasuk penggunaan bahan bakar dengan angka setana yang lebih tinggi atau aditif yang sesuai. Hal ini diperlukan untuk memastikan

bahwa injeksi bahan bakar berlangsung di daerah terpanas silinder, dan untuk mempertimbangkan bentuk pembakaran lewat dengan memvariasikan ukuran pilot antar silinder dan secara berkala selama beberapa siklus. Pendekatan utama adalah dengan menggunakan *injector* kecil yang dirancang khusus yang ditempatkan secara terpisah, di bodi yang sama dengan *injector* biasa, atau di bodi selongsong yang diproduksi khusus dengan dimensi yang sama untuk memfasilitasi wadahnya di ruang aslinya di dalam kepala silinder mesin. Namun pendekatan lain adalah memasang *prechamber* kecil yang dapat menampung *injector* kecil sedemikian rupa sehingga injeksi pilot kecil akan menyebabkan pengapian di dalam ruang ini. Produk pembakarannya kemudian dapat keluar dengan cepat ke ruang utama untuk menyalakan campuran gas-udara yang telah dicampur terlebih dahulu. (Karim, 2015: 128)

c. *Timing* injeksi

Timing injeksi adalah waktu injeksi bahan bakar (solar) yang ditentukan oleh pabrikan sehubungan dengan model mesin yang digunakan. Waktu injeksi mesin diesel dapat diatur secara manual, terutama untuk mesin diesel yang menggunakan model mekanis (*injection pump*). Campuran, beban dan waktu injeksi dioptimalkan melalui karakteristik kinerja, pembakaran, dan emisi dari mesin penyalaan kompresi (Jayaraman et al., 2023). Namun kesalahan dalam pengaturan waktu injeksi dapat merusak mesin. Jika waktu injeksi terlalu dini, hasilnya adalah diesel *knock*, sedangkan terlalu jauh akan menurunkan

tekanan maksimum di dalam silinder, yang menyebabkan tenaga mesin berkurang dan konsumsi bahan bakar meningkat, sehingga lebih boros. Pengaturan *timing* injeksi adalah melewati pompa bahan bakar bertekanan tinggi yang diatur sesuai dengan *manual book* dari mesin tersebut, ketepatan *timing* pada pompa bahan bakar bertekanan tinggi akan mempengaruhi pembakaran pada mesin diesel

Ukuran dan waktu injeksi pilot lebih disukai bervariasi secara independen sehingga dapat berkontribusi untuk mencapai dan mempertahankan kinerja optimal dalam mode bahan bakar ganda. Juga, kontrol yang dikembangkan harus mempertahankan kinerja mesin yang dapat diterima ketika beberapa relatif kecil. (Karim, 2015: 46)

d. Penumpukan karbon yang berada pada ruang bakar

Tumpukan karbon pada sisa pembakaran akan membuat detonasi pada mesin diesel, kerak karbon akan menempel pada kepala silinder, *piston*, katup inlet maupun katup outlet yang dapat menurunkan kompresi pada mesin. Sisa oli yang lolos dari *ring piston* juga akan membuat karbon di dalam ruang bakar karena oli mesin yang mempunyai titik nyala yang lebih tinggi dari bahan bakar akan hanya sebagian terbakar di ruang bakar sehingga oli mesin di dalam ruang bakar akan berubah menjadi karbon yang mengendap. Karbon akan menjadi sebagai sumber panas sehingga pada saat bahan bakar dan udara akan terkompresi maka akan lebih cepat terbakar. Pembentukan jelaga terjadi pada suhu tinggi di dalam silinder, khususnya di zona ruang bakar terdapat campuran bahan bakar,

yaitu kondisi kekurangan oksigen (Agarwal et al., 2019).

Komposisi muatan silinder selama kompresi hanyalah udara dengan sedikit sisa gas yang tercampur dengannya. Dengan demikian, nilai rata-rata suhu yang berlaku pada saat injeksi bahan bakar cair dapat ditentukan sambil memperhitungkan efek perpindahan panas yang relatif kecil. (Karim, 2015:141)

e. Suhu pada ruang bakar

Pembakaran pada mesin diesel akan sangat bergantung pada suhu ruang bakar karena mesin diesel tidak menggunakan busi untuk pembakarannya sehingga suhu berperan sangat penting pada pembakaran mesin diesel. Suhu yang tepat pada mesin diesel akan membuat *auto ignition* terhadap bahan bakar yang akan dikompresi karena bahan bakar mempunyai titik nyala yang akan terbakar dalam sekejap jika suhu titik nyala pada bahan bakar tersebut terpenuhi.

Bergantung pada suhu yang berlaku, hanya sebagian kecil dari energi panas yang dapat diubah langsung menjadi kerja, sambil membuang sisanya sebagai panas yang tidak diubah ke lingkungan. tingkat ideal maksimum konversi energi panas menjadi kerja tergantung pada suhu panas yang diberikan dan lingkungan penolakan, dan ini ditetapkan melalui pertimbangan efisiensi. (Karim, 2015: 6)

f. Kompresi pada pembakaran

Kompresi yang pada ruang silinder yang meningkat akan mengakibatkan timbulnya pembakaran yang lebih cepat dari *timing*

pembakaran sehingga terjadinya detonasi pada mesin diesel. Mesin pengapian kompresi (CI) menggunakan udara bertekanan untuk memulai pembakaran, yang digambarkan dengan rasio kesetaraan bahan bakar (Windarto et al., 2023).

Intensitas detonasi diesel dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mencakup desain mesin, seperti langsung dan injeksi tidak langsung, rasio kompresi, ukuran mesin, kecepatannya, suhu dinding, insulasi suara disediakan, dan keadaan dan kondisi mesin. (Karim, 2015: 188)

g. *Fuel rack*

Pada mesin diesel terdapat *rack* yang mengatur jumlah bahan bakar yang akan masuk ke dalam silinder, untuk *rack* dapat diatur manual sesuai kebutuhan dan kekuatan mesin tersebut. *Fuel rack* otomatis akan naik dan turun sesuai *governor* pada mesin diesel, jika rpm berkurang otomatis *fuel rack* akan turun dan jika rpm dinaikan *fuel* akan bertambah.

6. Ciri-ciri mesin mengalami detonasi

a) RPM pada main engine sulit ditingkatkan

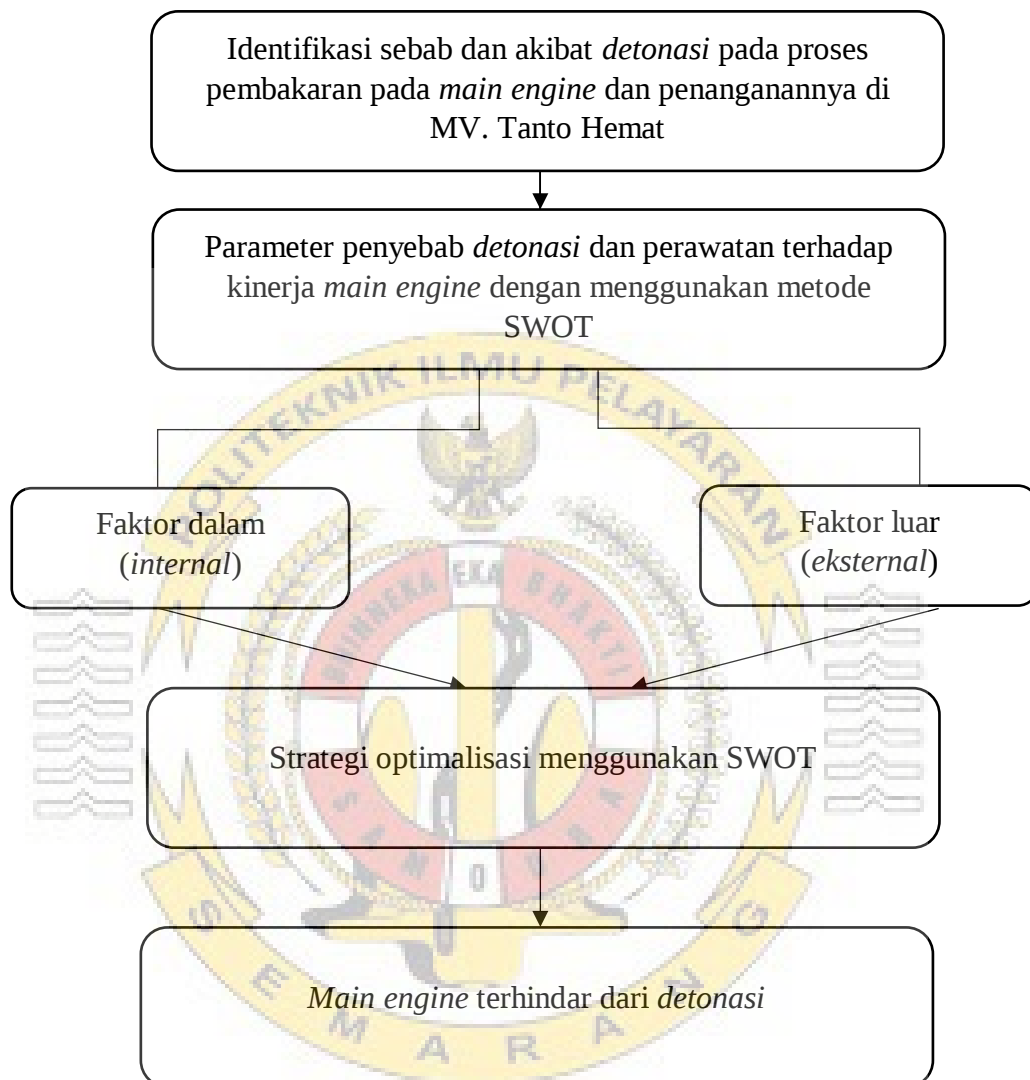
RPM pada mesin yang mengalami detonasi akan sulit ditingkatkan karena masalah dengan pasokan bahan bakar, seperti filter bahan bakar yang tersumbat, pompa bahan bakar yang rusak, atau injektor yang tidak berfungsi dengan baik, mesin dapat kesulitan mendapatkan jumlah bahan bakar yang tepat untuk meningkatkan RPM.

b) Getaran mesin akan terasa lebih kasar terutama pada saat mesin pada posisi RPM siaga/*idle*

Karena pada saat posisi *idle* mesin mempunyai putaran yang relatif normal dibanding pada saat mesin sudah diberi beban. Pada posisi ini mesin sudah menyala tetapi dalam keadaan tidak bergerak atau tidak diberi beban, suara dari gas buang pun tidak terlalu kencang sehingga detonasi akan terdengar dengan jelas.



B. Kerangka Penelitian



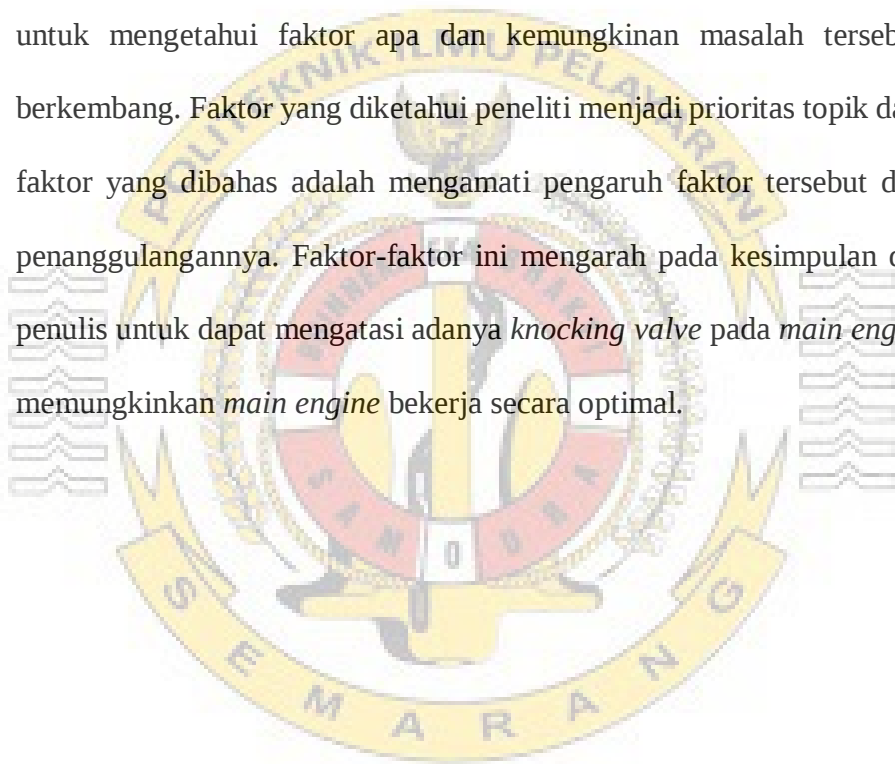
Gambar 2. 5 kerangka penelitian

Pada kerangka pikiran ini peneliti akan menggambarkan bagaimana rangkaian penelitian agar terarah dan jelas maksud dan tujuan dari penelitian. Pembuatan rangkaian ini juga untuk mempermudah dari apa saja yang dianalisis dan bagaimana alur penelitian.

Berdasarkan kerangka di atas topik dijelaskan yaitu penyebab *detonasi* pada

mesin diesel, dari hal-hal itu yang mengarah pada faktor penyebab pokok permasalahan dan penyidik ingin mengetahui faktor-faktor penyebab kejadian tersebut akibat yang ditimbulkan oleh faktor penyebab dan upaya tersebut di atas atau upaya untuk memecahkan masalah yang ada.

Setelah tahu upaya apa yang telah dilakukan, hasil dasar teori dari masalah di atas untuk analisis lebih lanjut. Hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti untuk mengetahui faktor apa dan kemungkinan masalah tersebut dapat berkembang. Faktor yang diketahui peneliti menjadi prioritas topik dan faktor-faktor yang dibahas adalah mengamati pengaruh faktor tersebut dan upaya penanggulangannya. Faktor-faktor ini mengarah pada kesimpulan dan saran penulis untuk dapat mengatasi adanya *knocking valve* pada *main engine* untuk memungkinkan *main engine* bekerja secara optimal.



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian berikut adalah simpulan dan pembahasan yang dilakukan peneliti tentang detonasi atau *knocking* yang terjadi pada mesin induk MV. Tanto Hemat, sebagai berikut:

1. Detonasi pada *main engine* dapat diidentifikasi dengan cara:
 - a. Terjadi *ignition delay* yang membuat perambatan api menjadi lebih lama.
 - b. *pre ignition* yang terjadi ketika bahan bakar sudah terbakar sebelum *timing*.
2. Sebab dan akibat dari detonasi mesin diesel ialah dari faktor segitiga api yang dalam salah satu elemennya tidak sempurna baik dari panas, bahan bakar, dan udara, sehingga terjadi pembakaran yang lebih cepat daripada *timing* Mesin diesel atau sering disebut dengan detonasi. Akibat dari detonasi ialah kerusakan pada *spare part* mesin diesel yang ditimbulkan dari detonasi tersebut, konsumsi bahan bakar akan semakin banyak atau boros.
3. Strategi yang digunakan untuk mencegah detonasi pada mesin induk

dengan menggunakan strategi metode SWOT dengan perolehan hasil pada kuadran III, yaitu:

- a. Melakukan pengamatan dan pengecekan secara berkala pada *ring piston* dan *cylinder liner* dan pengecekan *timing* dari pompa bahan bakar bertekanan tinggi dari *cylinder* 1 sampai 8.
- b. Berkomunikasi lebih lanjut dengan superintendent kapal untuk meminta *spare part* yang kurang dan untuk mengganti *spare part recondition* yang sudah tidak layak pakai dengan yang baru.
- c. Pengecekan terhadap bahan bakar yang akan digunakan mulai dari suhu, kekentalan, dan tekanan.

B. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan penelitian yang dilaksanakan pada tanggal 15 Agustus 2021 sampai dengan 16 Agustus 2022 selama 12 bulan 1 hari, sehingga keterbatasan penelitian ini mempengaruhi hasil penelitian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memperluas cakupan sampel, menggali lebih dalam variabel yang terlibat, dan menggunakan metode pengukuran yang lebih presisi untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang fenomena yang diteliti

C. Saran

Peneliti dapat memberikan panduan tentang masalah yang muncul pada detonasi mesin induk, berdasarkan pengalaman dan masalah yang

muncul saat melakukan penelitian di atas kapal MV. Tanto Hemat. Oleh karena itu, peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Agar gangguan yang mempengaruhi detonasi pada *main engine* dapat dicegah maka sebaiknya melakukan pengurangan RPM pada mesin, cek kondisi bahan bakar yang masuk pada mesin, periksa temperatur bahan bakar dan temperatur pada blok mesin apakah panasnya mencukupi atau kurang.
2. Untuk mencegah detonasi agar tidak terjadi sebaiknya pengecekan dan perawatan terutama pada elemen segitiga api yang sangat berdampak pada kejadian detonasi dan penting untuk mengatasi masalah detonasi pada mesin diesel secepat mungkin untuk mencegah kerusakan yang lebih serius dan memperpanjang umur mesin. Pastikan untuk selalu menjaga mesin diesel dalam kondisi yang baik dan rutin melakukan perawatan terhadapnya, jika kerusakan telah terjadi karena detonasi maka segera adakan pergantian *spare part* untuk mengembalikan kinerja mesin lebih baik.
3. Diharapkan agar perusahaan menggunakan metode SWOT untuk menyajikan evaluasi dengan pendekatan masalah sebagai sesuatu yang yang dapat diperhitungkan atau digunakan di atas kapal, tentunya tidak hanya untuk mesin diesel utama tetapi juga untuk sistem mesin lainnya di atas kapal, karena dengan metode ini para Masinis dapat menemukan dan mampu menyusun strategi – strategi apa yang baik untuk diterapkan dalam memecahkan suatu masalah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Khalid, A., Jaat, N., Saputra Nursal, R., Koten, H., & Karagoz, Y. (2021). *A study of ignition delay, combustion process and emissions in a high ambient temperature of diesel combustion*. *Fuel*, 120706. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120706>
- Agarwal, A. K., Jiotode, Y., & Sharma, N. (2019). *Endoscopic visualization of engine combustion chamber using diesoline, diesosene and mineral diesel for comparative spatial soot and temperature distributions*. *Fuel*, 241, 901–913. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.068>
- Anis, S., & Budiandono, G. N. (2019). *Investigation of the effects of preheating temperature of biodiesel-diesel fuel blends on spray characteristics and injection pump performances*. *Renewable Energy*, 140, 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.062>
- Balz, R., von Rotz, B., & Sedarsky, D. (2020). *In-nozzle flow and spray characteristics of large two-stroke marine diesel fuel injectors*. *Applied Thermal Engineering*, 180, 115809. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115809>
- Chen, C., Jia, P., Chen, Y., Tu, Z., Deng, B., Liu, H., & Huang, H. (2022). *A multi-component surrogate mechanism of diesel from indirect coal liquefaction for diesel engine combustion and emission simulations*. *Fuel*, 320, 123928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123928>
- Chybowski, L., Myśków, J., & Kowalak, P. (2023). *Analysis of fuel properties in the context of the causes of three marine auxiliary engines failure – A case study*. *Engineering Failure Analysis*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107362>
- Gawale, G. R., & Naga Srinivasulu, G. (2020). *Experimental investigation of propanol dual fuel HCCI engine performance: Optimization of propanol mass flow rate, impact of butanol blends (B10/B20/B30) as fuel substitute for diesel*. *Fuel*, 279, 118535. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118535>
- Guan, W., He, Z., Zhang, L., EL-Seesy, A. I., Wen, L., Zhang, Q., & Yang, L. (2021). *Effect of asymmetric structural characteristics of multi-hole marine diesel injectors on internal cavitation patterns and flow characteristics: A*

numerical study. *Fuel*, 283, 119324.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119324>

Huo, X., Lu, Q., & Wang, J. (2022). *Liaw-UNIFAC flash point model for alcohols-kerosene/diesel fuel blends using average fuel structure*. *Process Safety and Environmental Protection*, 160, 400–410.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.027>

Isermann, Rolf. 2014. *Engine Modeling and Control* : New York: Springer

Jayaraman, J., Arunkumar, T., Senthil Kumar, P., Mariadhas, A., Appavu, P., & Rangasamy, G. (2023). *Performance analysis on a compression ignition engine fueled with algae, rice bran methyl esters, and their diesel blends at optimized blend proportion, injection timing and load*. *Fuel*, 344, 128024.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128024>

Karim.A. Ghazi. 2015. *Dual Fuel Diesel Engine*. New York :Taylor & Francis

Karthickeyan, V. (2019). *Effect of combustion chamber bowl geometry modification on engine performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engine with its energy and exergy analysis*. *Energy*, 176, 830–852. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.012>

Li, J., Zhang, Z., Ye, Y., Li, W., Yuan, T., Wang, H., Li, Y., Tan, D., & Zhang, C. (2022). *Effects of different injection timing on the performance, combustion and emission characteristics of diesel/ethanol/n-butanol blended diesel engine based on multi-objective optimization theory*. *Energy*, 260, 125056.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125056>

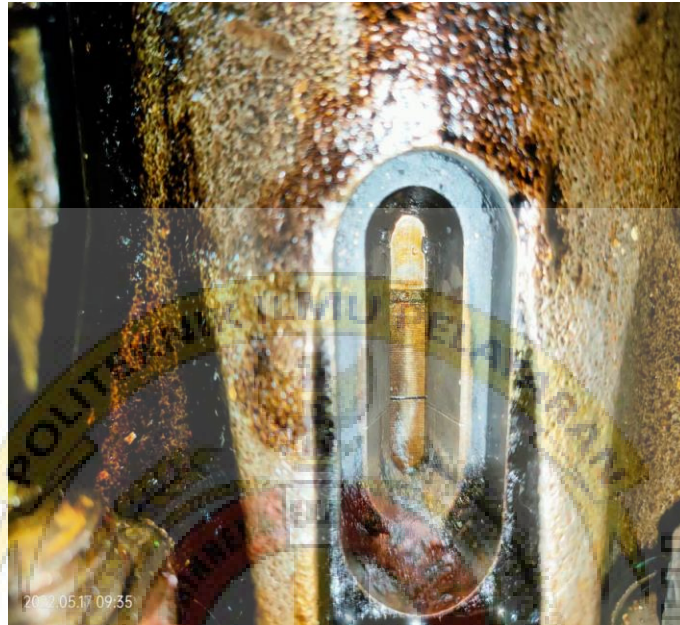
Li, Y., Liu, B., Qin, S., Chang, W., & Dong, Q. (2023). *Experimental study on flame combustion characteristics of large-bore marine diesel engine based on endoscopic technology*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 44, 102856.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102856>

Mansor, M. R. A., Mohamad, T. I., & Sabah, O. (2021). *Numerical investigation on combustion and emissions in a direct injection compression ignition engine fuelled with various hydrogen–methane–diesel blends at different intake air temperatures*. *Energy Reports*, 7, 403–421.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.110>

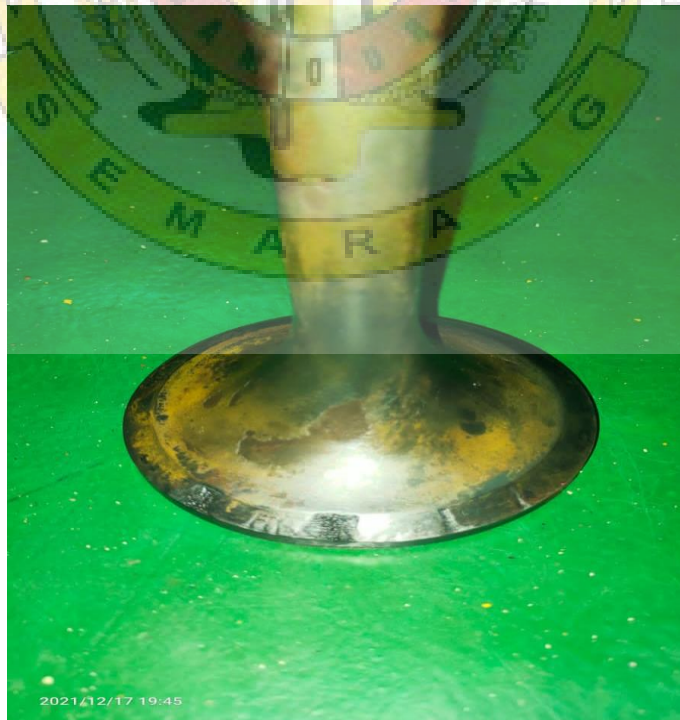
Momenimovahed, A., Gagné, S., Gajdosechova, Z., Corbin, J. C., Smallwood, G. J., Mester, Z., Behrends, B., Wichmann, V., & Thomson, K. A. (2021). *Effective density and metals content of particle emissions generated by a diesel engine operating under different marine fuels*. *Journal of Aerosol Science*, 151, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.105651>

- Rangkuti, F. 2015. Personal SWOT Analysis. Jakarta: Gramedia Utama
- Rosid, K. (2021). Analisis Penyebab Terjadinya Knocking Valve Pada Mesin Diesel Generator DI MV. Kartini Baruna. Repository.pip-semarang.ac.id
- Sugiyono. 2021. Metode Penelitian Tindakan Komprehensif. Bandung: Alfabeta
- Suratman, S. (2019). Analisis Penyebab Terjadinya Knocking Pada Mesin Diesel Generator di MT. Anggraini Excellent. Repository.pip-semarang.ac.id
- Tang, X., Wang, P., Zhang, Z., Zhang, F., Shi, L., & Deng, K. (2022). *Effects of high-pressure and donor-cylinder exhaust gas recirculation on fuel economy and emissions of marine diesel engines*. *Fuel*, 309, 122226. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122226>
- Voice, A. K., & Hamad, E. (2022). *Evaluating the thermodynamic potential for carbon capture from internal combustion engines*. *Transportation Engineering*, 10, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100144>
- Wang, X., Pan, J., Li, W., Wei, H., Pan, M., Wang, X., & Wu, H. (2020). *Optical experiments on diesel knock for high altitude engines under spray impingement conditions*. *Fuel*, 278, 118268. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118268>
- Wei, Y., Zhang, H., Fan, L., Gu, Y., Leng, X., Deng, Y., & He, Z. (2022). *Experimental study into the effects of stability between multiple injections on the internal flow and near field spray dynamics of a diesel nozzle*. *Energy*, 248, 123490. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123490>
- Wijoyo H. 2021. Teknik Pengambilan Keputusan. Solok : Insan Cendekia Mandiri
- Windarto, C., Setiawan, A., Ho, N., & Duy, X. (2023). ScienceDirect *Investigation of propane direct injection performance in a rapid compression and expansion machine : Pathways to diesel marine engine efficiency parity with spark discharge duration strategies*. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.131>
- Wu, H., Dong, X., Shi, Z., Li, H., Cao, W., Zhang, L., Bo, Y., & Li, X. (2022). *Effect of injection timing on knock combustion and pollutant emission of heavy-duty diesel engines at low temperatures*. *Chemosphere*, 305, 135519. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135519>
- Wu, H., Sun, L., Shi, Z., Li, H., Zhang, L., Bo, Y., Cao, W., & Li, X. (2022). *Effect of wall parameters on impinging combustion and soot emission characteristics of heavy-duty diesel engine at low temperature*. *Chemosphere*, 306, 135568. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135568>

- Wu, Y., Liu, L., Liu, B., Cao, E., & Xiong, Q. (2023). Journal Pre-proof. *Energy*, 128078. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128078>
- Xiao, H., Wang, W., Bao, H., Li, F., & Zhou, L. (2023). Biodiesel-diesel blend optimized via leave-one cross-validation based on kinematic viscosity, calorific value, and flash point. *Industrial Crops and Products*, 191(PA), 115914. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115914>
- Xu, H., Ni, X., Su, X., Weng, C., & Yao, C. (2022). The effect of ignition intensity and in-cylinder pressure on the knock intensity and detonation formation in internal combustion engines. *Applied Thermal Engineering*, 200, 117690. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117690>
- Yang, C., Faragher, R., Yang, Z., Hollebone, B., Fieldhouse, B., Lambert, P., & Beaulac, V. (2023). Characterization of chemical fingerprints of ultralow sulfur fuel oils using gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Fuel*, 343, 127948. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127948>
- Yousefi, A., Guo, H., & Birouk, M. (2020). Split diesel injection effect on knocking of natural gas/diesel dual-fuel engine at high load conditions. *Applied Energy*, 279, 115828. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115828>
- Yuan, Y., Wang, Z., Wang, D., Dong, L., Li, W., & Guo, Y. (2020). Failure investigation of a marine diesel engine timing gear. *Engineering Failure Analysis*, 107, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104203>
- Zhai, C., Jin, Y., Wu, Q., Nishida, K., & Ogata, Y. (2021). Diesel spray and combustion of multi-hole injectors with micro-hole under ultra-high injection pressure – Combustion characteristics. *Fuel*, 300, 120949. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120949>

LAMPIRAN

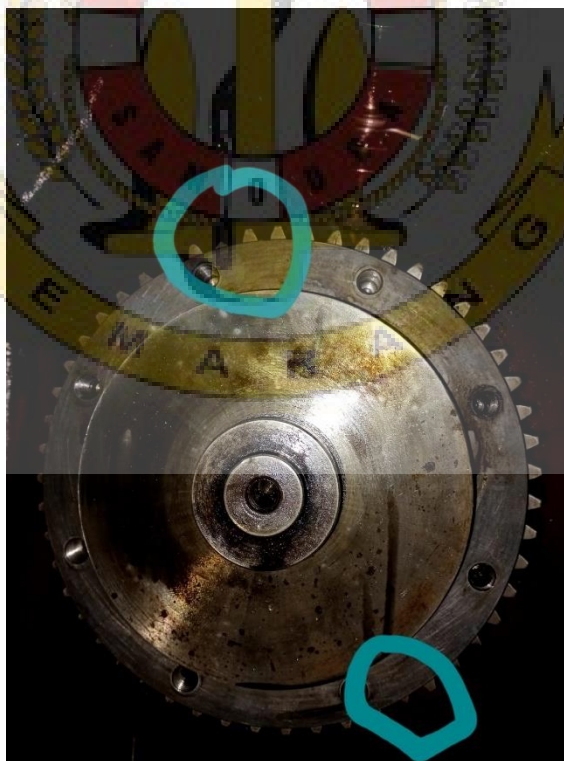
Gambar 1 : Tally mark pompa bahan bakar bertekanan tinggi *cylinder* 7



Gambar 2 : Kerusakan valve *cylinder* 7



Gambar 3 :Overhaul cylinder head



Gambar 4 : Kerusakan crank gear

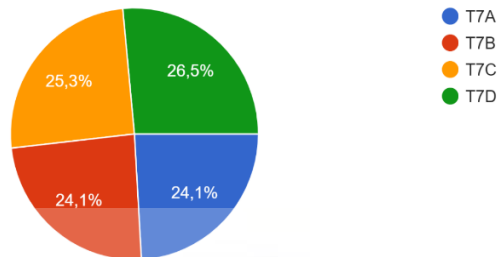


Gambar 5 :Penggantian *ring* piston pada 7



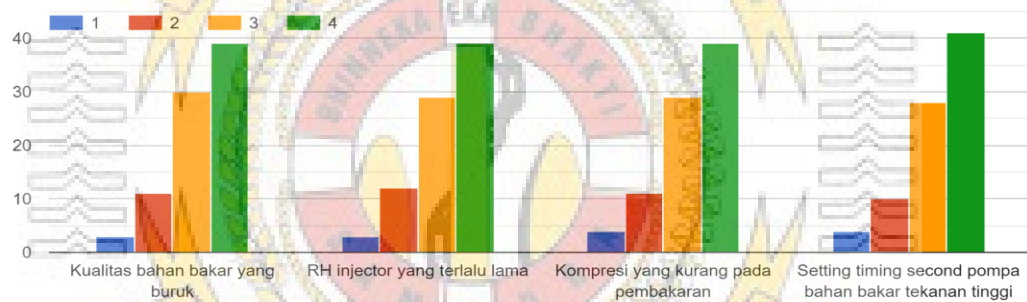
Gambar 6 : Karbon pada piston *cylinder* 7

KELAS
83 jawaban



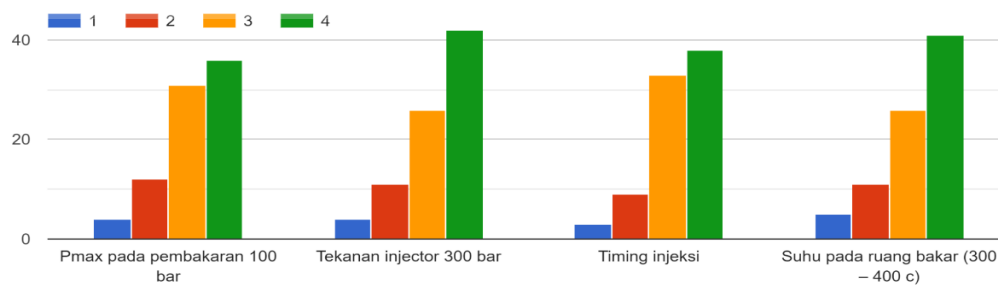
Gambar 7 Presentase responden tiap kelas T7A hingga T7D

Indikator Kelemahan (Weakness)



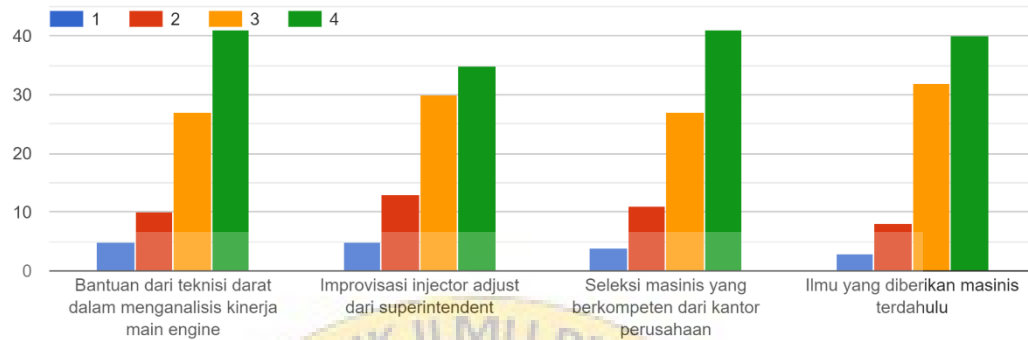
Gambar 8 Grafik responden pada variabel *weakness*

Indikator Kekuatan (Strenght)

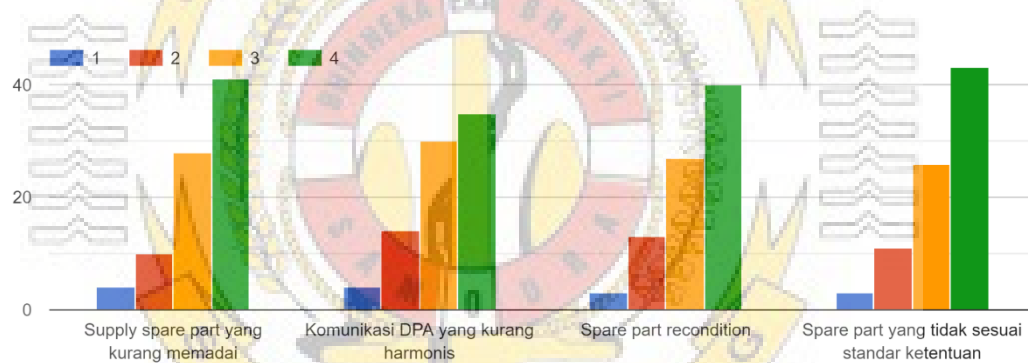


Gambar 9 Grafik responden pada variabel *strenght*

Indikator Peluang (opportunities)

Gambar 10 Grafik responden pada variabel *opportunities*

Indikator Ancaman (Threats)

Gambar 11 Grafik responden pada variabel *threats*

Spesifikasi MFO 180 (HSFO)

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Berat Jenis pada 15 °C	kg/m ³	-	991	ASTM D1298
2	Viskositas Kinematic pada 50 °C	mm ² /dt	-	180	ASTM D445
3	Kandungan Belerang	% m/m	-	4.5	ASTM D1552 / ASTM D2622
4	Titik Tuang	°C	-	30	ASTM D97
5	Titik Nyala	°C	60	-	ASTM D93
6	Residu Karbon	% m/m	-	16	ASTM D189
7	Kandungan Abu	% m/m	-	0.10	ASTM D482
8	Sedimen Total	% m/m	-	0.10	ASTM D473
9	Kandungan air	% v/v	-	1.0	ASTM D95
10	Vanadium	mg/kg	-	200	AAS
11	Aluminium + Silikon	mg/kg	-	80	ASTM D5184 / AAS
ACUAN : SK Dirjen Migas No. 14496K/14/DJM/2008 tanggal 21 Agustus 2008 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Bakar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.					

Gambar 12 Spesifikasi MFO

Tabel 1 Faktor internal

No	Unsur SWOT
1	Kekuatan (Strenght)
	Kebocoran pada <i>valve di cylinder head</i>
	Tekanan <i>injector</i> 300 kg/cm ²
	<i>Timing</i> injeksi
	Penumpukan karbon pada ruang bakar
2	Kelemahan (Weakness)
	Kerusakan pada ring piston
	RH <i>injector</i> yang terlalu lama
	Kualitas bahan bakar yang buruk
	Setting <i>timing</i> second pompa bahan bakar tekanan

Tabel 2 Faktor eksternal

No	Unsur SWOT
1	Kesempatan (Opportunities)
	Ilmu yang diberikan masinis terdahulu
	Improvisasi <i>injector</i> adjust dari superintendent
	Bantuan dari teknisi darat dalam menganalisis kinerja <i>Main Engine</i>
	Seleksi masinis yang berkompeten dari kantor perusahaan
2	Ancaman (Threats)
	Supply <i>spare part</i> yang kurang memadai
	<i>Spare part recondition</i>
	<i>Spare part</i> yang tidak sesuai standar ketentuan
	Komunikasi DPA yang kurang harmonis

	PART NAME	MAX RH	BEFORE	RECENT	AFTER	REMARKS
	CYLINDER HEAD	3500	1973	490	2463	
1	CYLINDER HEAD No.6.	10000	1973	490	2463	04/04/21: Ganti cyl Head by spare recond
2	Inteke Valve Guide	10000	1973	490	2463	04/04/21: Claned IN & EXH valve guide
3	Inlet Valve	10000	1973	490	2463	04/04/21: Renew inlet valve
4	Exhaus Valve	10000	1973	490	2463	04/04/21: Renew exh valve
5	Starting Valve	10000	1973	490	2463	
6	Rocker Arem	10000	28899	490	29389	
7	Sefety Valve	10000	28899	490	29389	
8	Adjusting Cearance	1500	835	490	1325	25/04/2021 : adjusted clearance
9	Fuel Injector	1500	1973	490	2463	17/04/2021: cleaned & test press 300 kg/cm"
10	Piston	10000	1973	490	2463	16/04/21: Cleaned piston
11	Piston Ring	10000	1973	490	2463	16/04/21: Renew Ring piston
12	Connecting Rood	10000	28899	490	29389	
13	Cylinder Liner	10000	1973	490	2463	16/04/21: Renew Liner
14	Plunger Barrel	10000	549	490	1039	19/04/21: Ganti plunger Barrel bekas T.kharisma
	CYLINDER HEAD	3500	1167	490	1657	
1	CYLINDER HEAD No.7.	10000	1167	490	1657	03/04/2021: Ganti cyl Head by spare recond
2	Inteke Valve Guide	10000	1167	490	1657	03/04/21: Cleaned IN & EXH valve guide
3	Inlet Valve	10000	1167	490	1657	03/04/21: Renew inlet valve
4	Exhaus Valve	10000	1167	490	1657	03/04/21: Renew exh valve

5	Starting Valve	10000	1167	490	1657	
6	Rocker Arm	10000	28899	490	29389	
7	Safety Valve	10000	28899	490	29389	
8	Adjusting Clearance	1500	835	490	1325	25/04/2021 : adjusted clearance
9	Fuel Injector	1500	3350	490	3840	04/04/2021: cleaned & test press 300 kg/cm"
10	Piston	10000	6494	490	6984	03/04/21: Cleaned piston
11	Piston Ring	10000	6494	490	6984	25/04/2020: RENEW RING PISTON
12	Connecting Rod	10000	28899	490	29389	
13	Cylinder Liner	10000	6494	490	6984	25/04/2020: RENEW LINER
14	Plunger Barrel	5000	1873	490	2363	10/04/21: O/H b.pump, Cleaned part

Gambar 13 *Planned Maintenance System cylinder 6 & 7*



Gambar 14 Timing gear yang tidak sesuai *mark*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Ilham Maulana
 Tempat/Tanggal Lahir: Sragen, 15 Mei 2001
 NIT : 561911217224 T
 Alamat : Banaran Sambungmacan, Sragen
 Agama : Islam
 Pekerjaan : Taruna PIP Semarang
 Hobi : Olahraga



Orang Tua

Nama Ayah : Purwanto
 Pekerjaan : PNS
 Nama Ibu : Nur Aini Khabiba
 Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga

Riwayat Pendidikan

1. SDN Pleburan 03 (2007-2013)
2. SMP N 1 Sambungmacan (2013-2016)
3. MAN N 1 Sragen (2016-2019)
4. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang (2019-Sekarang)

Pengalaman Praktek Laut (Prala)

Perusahaan: PT. Tanto Intim Line

Alamat: Jl. Yos Sudarso No. 36 Jakarta Utara. Phone (021) 8067 8000