

**ANALISIS MENINGKATNYA TEMPERATUR GAS BUANG  
MESIN INDUK DI KAPAL KM. PANGRANGO**



**ANUGRAH MAGISTRA ADIBA**

**NIT. 21.42.007**

**TEKNIKA**

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

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Anugrah Magistra Adiba  
NIT : 21.42.007  
Program Studi : Teknika

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

### **Analisis Meningkatnya Temperatur Gas Buang Mesin Induk Di Kapal KM. PANGRANGO**

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

Makassar, 14 November 2025



Anugrah Magistra Adiba  
NIT. 21.42.007

**ANALISIS MENINGKATNYA TEMPERATUR GAS BUANG  
MESIN INDUK DI KAPAL KM. PANGRANGO**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk  
Menyelesaikan Program Pendidikan  
Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan oleh

ANUGRAH MAGISTRA ADIBA

NIT. 21.42.007

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

**SKRIPSI**

**ANALISIS MENINGKATNYA TEMPERATUR GAS BUANG  
MESIN INDUK DI KAPAL KM. PANGRANGO**

**ANUGRAH MAGISTRA ADIBA  
NIT. 21.42.007**

Telah dipertahankan di depan Panitia seminar Skripsi  
Pada tanggal, 14 November 2025

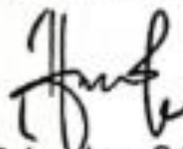
Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



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



Novianty Palayukan, S.S., M.Hum  
NIP. 19811123 200502 2 002

Mengetahui:

a.n Direktur  
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar  
Pembantu Direktur I

Ketua Program Studi Teknika



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



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

## **PRAKATA**

Segala puji syukur ke hadirat ALLAH SWT, karena atas Rahmat, kenikmatan dan Hidayah-nya sehingga penulis diberi kemudahan dan kelancaran untuk menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisis Meningkatnya Temperatur Gas Buang Mesin Induk Di Kapal KM. PANGRANGO”.

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

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

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan kemudahan dalam menuntut ilmu di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P selaku Ketua Program Studi Teknik Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan kemudahan dalam menuntut ilmu di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
3. Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P selaku Dosen Pembimbing 1 dan Novianty Palayukan, S.S., M.Hum selaku Dosen Pembimbing 2 Penulisan dan Penyusunan Skripsi yang selalu meluangkan waktu dan selalu memberikan dukungan, nasihat, serta motivasi sehingga skripsi ini terselesaikan.

4. Seluruh Dosen dan Staff Pembina Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah membantu serta mengayomi saya selama menimba ilmu di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
5. Ayahanda Agus Jatmiko, Ibunda Siti Rosdiana, serta keluarga tercinta yang selalu tulus memberikan do'a, nasihat, dan dukungan baik moral maupun material, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Nahkoda beserta seluruh ABK dari KM. PANGRANGO yang telah memberi pengalaman, ilmu dan kesempatan untuk belajar.
7. Seluruh Taruna/l yang telah memotivasi dan membantu saya dalam proses penyusunan skripsi, terkhusus Angkatan XLII.
8. Rekan-rekan HSX yang selalu menyemangati dan memotivasi untuk segera menyelesaikan penelitian ini dan pendidikan di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

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

Makassar, 14 November 2025



ANUGRAH MAGISTRA ADIBA

21.42.021

## ABSTRAK

ANUGRAH MAGISTRA ADIBA, Analisis Meningkatnya Temperatur Gas Buang Mesin Induk Di Kapal KM. PANGRANGO (Dibimbing Oleh Bapak Alberto, dan Ibu Novianty Palayukan).

Mesin induk kapal umumnya menggunakan motor diesel. Salah satu komponen penting dalam mesin diesel adalah *injector*, yang berfungsi mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab serta solusi yang tepat untuk mengatasi peningkatan temperatur gas buang mesin induk.

Penelitian ini dilaksanakan di kapal KM. PANGRANGO milik perusahaan PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA. Studi ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dan metode observasi langsung dengan pengumpulan data berupa identifikasi visual terhadap kondisi *injector*, pelaksanaan perawatan, serta pencatatan temperatur gas buang dan dianalisis menggunakan metode deskriptif kualitatif.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyumbatan dan tetesan bahan bakar pada *injector* merupakan faktor dominan yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna, hal inilah yang menjadi penyebab meningkatnya temperatur gas buang mesin induk. Jika ini dibiarkan terus-menerus, maka akan menimbulkan kerusakan yang lebih pada mesin. Oleh karena itu untuk mencegah hal ini, perlu diadakan perawatan yang baik dan teratur sesuai dengan jam kerja yang ada pada buku pedoman di atas kapal.

**Kata kunci:** gas buang, mesin induk, *injector*, suhu tinggi, pembakaran tidak sempurna, KM.Pangrango.

## ABSTRACT

ANUGRAH MAGISTRA ADIBA. Analysis of the Increasing Exhaust Gas *Temperature* of the Main Engine on KM. PANGRANGO (Supervised by Mr. Alberto and Mrs. Novianty Palayukan).

The main engine of a ship generally uses a diesel engine. One essential component in a diesel engine is the *injector*, which functions to atomize fuel into the *combustion chamber*. This research aims to analyze the causes and determine the appropriate solutions to address the increase in the main engine's exhaust gas temperature (EGT).

This research was conducted on board the KM. PANGRANGO, owned by PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA. This study utilized a descriptive qualitative approach through the methods of direct observation and technical documentation gathered during the sailing practice period.

The investigation results indicate that clogging and fuel dripping from the *injector* are the dominant factors causing incomplete combustion, which, in turn, leads to the increase in the main engine's exhaust gas temperature. If left unaddressed, this condition will cause further damage to the engine. Therefore, to prevent this, it is necessary to carry out good and regular maintenance in accordance with the working hours specified in the vessel's instruction manual.

**Keywords:** exhaust gas, main engine, *injector*, high temperature, incomplete combustion, KM Pangrango.

## DAFTAR ISI

PRAKATA	II
ABSTRAK	I
ABSTRACT	II
DAFTAR ISI	III
DAFTAR TABEL	V
DAFTAR GAMBAR	VI
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Pengertian Mesin Induk	5
B. Prinsip Kerja Mesin Diesel	8
C. Pengertian Gas Buang Pada Mesin Diesel	11
D. Sistem Pemasukan Bahan Bakar	16
E. Pengertian <i>Injector</i>	23
F. Bagian – Bagian <i>Injector</i>	27
G. Cara Kerja <i>Injector</i>	31
H. Faktor-Faktor Penyebab Gangguan pada <i>Injector</i>	32
I. Persyaratan Pengabutan Pada <i>Injector</i>	34
J. Proses Pengabutan	35
K. Kerangka Pikir	39
BAB III METODE PENELITIAN	40
A. Jenis Penelitian	40
B. Definisi Operasional Variabel	42
C. Teknik Pengumpulan Data	43
D. Teknik Analisis Data	44
E. Jadwal Penelitian	45
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	46

A. Hasil Penelitian	46
1. Gambaran Umum Tempat Penelitian	46
2. Analisis Dan Hasil Data Analisis	52
B. Pembahasan	65
1. Penyempitan terhadap lubang <i>nozzle</i>	65
2. Menetesnya bahan bakar pada <i>nozzle</i>	68
3. Daftar tabel setelah perawatan <i>Injector</i>	70
BAB V PENUTUP	71
A. Kesimpulan	71
B. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kerangka Pikir	39
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	47
Tabel 4. 1 Data <i>Injector</i> KM. PANGRANGO	51
Tabel 4. 2 Kondisi <i>Injector</i> Normal	58
Tabel 4. 3 Kondisi <i>Injector</i> Terjadi Penyempitan	61
Tabel 4. 4 Kondisi <i>Injector</i> Bahan Bakar Menetes	64
Tabel 4. 5 Sesudah Perawatan <i>Injector</i>	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Pemasukan Bahan Bakar Ke <i>Injector</i>	16
Gambar 2. 2 Alur Treatment Bahan Bakar	18
Gambar 2. 3 Segitiga Api	19
Gambar 2. 4 Siklus Diagram P-v Mesin	21
Gambar 2. 5 Siklus Mesin Diesel 4 Tak	22
Gambar 2. 6 Siklus Mesin Diesel 4 Tak	22
Gambar 2. 7 <i>Injector</i> MAK 8M20	23
Gambar 2. 8 <i>Injector</i> Berlubang Satu	25
Gambar 2. 9 <i>Injector</i> Berlubang Banyak (Multiple-Hole)	26
Gambar 2. 10 <i>Injector</i> Model Pintle	27
Gambar 2. 11 <i>Nozzle</i> Holder	28
Gambar 2. 12 Pressure Spring	29
Gambar 2. 13 Pressure Pin	29
Gambar 2. 14 <i>Nozzle Needle</i>	30
Gambar 2. 15 <i>Nozzle</i> Body	30
Gambar 2. 16 Retaining Nut	31
Gambar 2. 17 Timing kecepatan pengabutan <i>Injector</i>	34
Gambar 2. 18 Injeksi tidak langsung ( <i>Precombustion chamber</i> )	36
Gambar 2. 19 Injeksi langsung ( <i>Direct combustion</i> )	37
Gambar 4. 1 Pengabutan Sempurna Pada <i>Injector</i> Yang Normal	58
Gambar 4. 2 Kondisi <i>Injector</i> Yang Mengalami Penyempitan	62
Gambar 4. 3 Sumbatan Yang Menumpuk Pada Lubang <i>Nozzle</i>	63
Gambar 4. 4 Kondisi <i>Injector</i> Yang Bahan Bakarnya Menetes	65
Gambar 4. 5 Alat Pembersih Spray Hole <i>Injector</i>	66
Gambar 4. 6 Grinding Pasta Yang Digunakan Untuk Me-Lapping Permukaan <i>Injector</i> Dan <i>Nozzle</i>	67
Gambar 4. 7 Tekanan Yang Didapat Pada Pressure Gauge	68
Gambar 4. 8 Contoh Pengabutan Dari <i>Injector</i> Yang Menetes	68
Gambar 4. 9 Me-Lapping <i>Nozzle</i> Dengan Spacer	69

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Mesin induk merupakan mesin penggerak induk di kapal yang mempunyai peranan penting dalam pengoperasian kapal. Mesin induk kapal umumnya menggunakan motor diesel karena konsumsi bahan bakar yang lebih efisien dibandingkan mesin bensin, dan performanya berbanding lurus dengan peningkatan putaran mesin. Utomo (2020). Prinsip kerja dari mesin induk terdiri dari 2 jenis yaitu motor diesel 2 tak dan motor diesel 4 tak. Sebuah jenis mesin pembakaran internal, karakteristik induk mesin diesel yang membedakannya dari mesin pembakaran lainnya adalah bagaimana bahan bakar dibakar.

Bentuk induk tenaga penggerak kapal adalah mesin diesel menjelaskan bahwa sistem mesin pembakaran, yang biasa dikenal sebagai mesin diesel, adalah pesawat yang menerjemahkan energi potensial panas menjadi energi mekanik dengan segera. Handoyo, (2020). Udara dikompresi oleh *piston*, yang berayun bolak-balik di dalam *cylinder*, meningkatkan suhu dan tekanan.

Bahan bakar diatomisasi oleh *nozzle injector* bertekanan tinggi ke dalam ruang bakar, dimana ia menyala spontan akibat suhu dan tekanan tinggi (compression ignition), lalu mendorong *piston* dan menghasilkan langkah ekspansi. Putranto et al (2023). Batang *piston* mentransfer daya poros engkol dari *piston*, dan kedua poros engkol mengubah gerak translasi *piston* menjadi gerak berputar.

Rudolf Diesel (lahir 18 Maret 1858 di Paris) adalah penemu mesin diesel. Di kapal, mesin penggerak utama umumnya menggunakan mesin diesel karena efisiensinya. Salah satu komponen penting dalam mesin diesel adalah *injector*, yang berfungsi mengabutkan bahan bakar ke dalam ruang bakar melalui *nozzle*. Jika

*injector* bermasalah, pembakaran menjadi tidak sempurna. Akibatnya, mesin tidak bekerja optimal, gas buang menjadi berasap, dan konsumsi bahan bakar meningkat.

Pada Tanggal 22 Mei 2024 saat Km. Pangrango berlayar dari pelabuhan Banda Naira menuju pelabuhan Saumlaki, saat mesin sudah beroperasi kurang lebih selama 36 jam dengan *speed* rata rata 6 knot, *oiler* jaga yang sedang melakukan kontrol lokasi mendapati adanya Temperatur gas buang yang tinggi (*Abnormal*) pada *Cylinder* no.1 mesin induk kanan, dengan segera melapor kepada masinis jaga. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada komponen lain.

Saat itu masinis jaga langsung memberikan instruksi untuk mematikan *main engine* dan kemudian melakukan konfirmasi ke KKM dan disetujui oleh kapten untuk melakukan tindakan darurat yaitu dengan mengecek *Cylinder* no.1 pada mesin induk kanan. Kemudian dilakukan Analisis penyebab meningkatnya Temperatur gas buang mesin induk. Pada saat *crew engine* mengadakan *safety meeting* dan *toolbox meeting* untuk pemecahan masalah.

Ditemukan beberapa Analisis, dan KKM memberikan instruksi kepada masinis 1 untuk mengangkat *Injector cylinder* no. 1, Karena waktunya dalam keadaan darurat, *Injector* langsung diganti dengan *Injector* yang telah diuji tekanannya serta pengabutan yang baik agar tidak terbuang waktu yang lama untuk melanjutkan perjalanan berlayar.

Berkaitan dengan hal di atas maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian yang berjudul “**Analisis Meningkatnya Temperatur Gas Buang Mesin Induk Di Kapal KM. PANGRANGO**”.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas maka masalah pokok menjadi rumusan masalah adalah apa yang menjadi penyebab serta serta solusi yang dilakukan untuk mengatasi peningkatan Temperatur gas buang mesin induk di kapal KM. Pangrango?.

## **C. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini lebih terarah dan mudah dipahami, penulis membatasi fokus hanya pada peningkatan temperatur gas buang yang disebabkan oleh penyempitan pada lubang *nozzle injector* dan menetesnya bahan bakar pada *nozzle injector*. Mengingat luasnya permasalahan yang dapat menjadi penyebab dari kenaikan temperatur gas buang mesin induk, penelitian ini tidak akan membahas faktor lain diluar penyempitan *nozzle* serta menetesnya bahan bakar pada *nozzle*.

## **D. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini yakni untuk mengetahui :

1. Penyebab meningkatnya Temperatur gas buang mesin induk di kapal.
2. Tindakan yang dilakukan untuk mengatasi kenaikan temperatur gas buang mesin induk di kapal.

## **E. Manfaat Penelitian**

1. Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan terhadap ilmu pengetahuan khususnya dalam dunia pelayaran. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi informasi tambahan. bagi masyarakat, khususnya taruna, serta anak buah

kapal agar lebih waspada terhadap gangguan atau kerusakan agar segera diperbaiki agar tidak menghambat pelayaran.

## 2. Manfaat Praktis

- a. Untuk memberikan gambaran umum kepada anak buah kapal, perusahaan pelayaran, maupun taruna tentang bagaimana menangani kenaikan suhu gas buang di mesin induk sehingga mereka dapat dengan mudah melakukan atau menangani masalah jika terjadi gangguan saat bekerja di kapal.
- b. Sebagai bahan masukan bagi *crew* khususnya pada *engineer* yang bekerja di atas kapal.
- c. Penelitian ini dapat membantu meningkatkan keselamatan operasional kapal dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kenaikan Temperatur gas buang pada mesin induk.
- d. Sebagai contoh dan penjelasan bagi para pembaca khususnya taruna lain tentang kenaikan Temperatur gas buang mesin induk di kapal.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pengertian Mesin Induk**

Mesin induk merupakan elemen penting dalam berbagai industri dan aplikasi teknik, khususnya dalam sistem tenaga mekanik. Secara umum, mesin induk adalah mesin utama yang menghasilkan daya mekanik atau tenaga yang digunakan untuk menggerakkan mesin lainnya dalam suatu sistem. Mesin induk berperan sebagai sumber utama tenaga dalam sistem propulsi maupun industri. Dalam konteks pelayaran, mesin induk menyediakan tenaga mekanik yang menggerakkan poros baling-baling kapal dengan mengubah tenaga *piston* menjadi langkah propulsive Jefrianto, dkk. (2024). Mesin ini berfungsi sebagai sumber utama tenaga yang menggerakkan proses-proses mekanis di industri atau dalam aplikasi-aplikasi yang memerlukan energi besar dan berkelanjutan. Dalam konteks yang lebih luas, mesin induk sering kali merujuk pada mesin yang mengubah bentuk energi menjadi energi mekanik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.

##### **1. Definisi Mesin Induk**

Mesin induk adalah mesin yang berfungsi sebagai penghasil tenaga utama dalam suatu sistem atau instalasi. Tenaga yang dihasilkan oleh mesin induk ini kemudian digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin lain yang ada dalam sistem tersebut. Misalnya, dalam sebuah pembangkit listrik, mesin induk bisa berupa turbin yang mengubah energi uap atau energi air menjadi tenaga mekanik yang kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik. Mesin induk juga dapat ditemukan dalam berbagai sektor lain, seperti industri manufaktur, transportasi, dan pembangkit tenaga, dengan peran yang sangat vital dalam kelancaran operasional.

Secara umum, mesin induk biasanya memiliki ukuran dan kapasitas yang besar, serta dirancang untuk menghasilkan daya

dalam jumlah besar secara efisien. Mesin ini dapat berupa turbin, motor, atau generator, tergantung pada jenis sumber energi yang digunakan. Mesin induk juga menjadi kunci dalam pengoperasian sistem secara keseluruhan karena jika mesin induk tidak berfungsi, maka seluruh sistem yang bergantung padanya akan terhenti.

## 2. Fungsi dan Peran Mesin Induk

Fungsi utama mesin induk adalah menghasilkan tenaga mekanik yang digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin lainnya dalam suatu sistem. Oleh karena itu, mesin induk memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai sektor, terutama dibidang industri dan energi. Beberapa fungsi mesin induk antara lain:

- a. Sumber Tenaga Utama, Mesin induk bertindak sebagai sumber utama daya mekanik dalam suatu sistem. Sebagai contoh, dalam sebuah pembangkit listrik, mesin induk berupa turbin atau generator menghasilkan tenaga mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik.
- b. Penggerak Proses Produksi Mesin induk di industri manufaktur menggerakkan mesin-mesin lain dalam lini produksi, seperti mesin pemotong, pengemas, dan perakitan. Tanpa mesin induk, proses produksi di pabrik tidak akan berjalan.
- c. Pemindahan Energi, Mesin induk juga berfungsi untuk mengalirkan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Sebagai contoh, dalam pembangkit listrik, mesin induk mengubah energi kinetik atau energi potensial menjadi energi listrik.
- d. Efisiensi Energi, Mesin induk juga berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energi. Mesin-mesin ini dirancang agar memiliki rasio *output* terhadap *input* yang optimal, sehingga dapat menghasilkan daya yang lebih besar dengan konsumsi energi yang lebih rendah.

Menjaga Kelangsungan Operasional, Mesin induk penting untuk menjaga kelangsungan operasional berbagai sektor industri. Tanpa mesin induk yang berfungsi dengan baik, banyak kegiatan industri dan

bahkan pembangkit listrik akan terhenti, mengakibatkan kerugian yang signifikan.

### 3. Prinsip Kerja Mesin Induk

Prinsip kerja mesin induk tergantung pada jenis mesin itu sendiri. Namun, pada dasarnya, semua mesin induk bekerja dengan mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lain. Berikut adalah beberapa prinsip dasar kerja mesin induk:

- a. Transformasi Energi, Sebagian besar mesin induk bekerja berdasarkan prinsip konversi energi, dimana energi dari sumber seperti uap, air, gas, atau listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya, dalam turbin uap, energi panas dari uap diubah menjadi energi kinetik yang memutar rotor turbin.
- b. Gerakan Rotasi: Banyak mesin induk yang menghasilkan tenaga mekanik berupa gerakan rotasi. Gerakan rotasi ini digunakan untuk menggerakkan berbagai peralatan atau mesin lainnya, seperti pompa, generator, dan motor.
- c. Penyampaian Daya, Setelah energi mekanik dihasilkan, mesin induk biasanya mengirimkan daya ini ke sistem lainnya melalui kopling atau penggerak lainnya. Misalnya, dalam pembangkit listrik, turbin menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Efisiensi, Mesin induk dirancang untuk mengubah energi dengan efisiensi tinggi. Ini berarti mesin tersebut dapat menghasilkan tenaga yang lebih besar dengan konsumsi energi yang lebih rendah, sehingga menghemat sumber daya dan meningkatkan kinerja operasional.

### 4. Jenis-jenis Mesin Induk

Mesin induk dapat dibedakan berdasarkan jenis energi yang digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanik. Beberapa jenis mesin induk yang umum digunakan antara lain:

#### a. Mesin Induk Tenaga Listrik

Mesin induk tenaga listrik adalah mesin yang mengubah energi listrik menjadi tenaga mekanik. Contohnya motor listrik, yang

digunakan untuk menggerakkan peralatan dengan gerakan rotasi atau linier, terutama dalam aplikasi industri.

b. Mesin Induk Tenaga Diesel

Mesin induk tenaga diesel menggunakan bahan bakar diesel sebagai sumber energi untuk menghasilkan tenaga mekanik. Mesin ini banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan mobilitas dan keandalan, seperti pada kapal, generator, dan kendaraan berat. Mesin diesel memiliki efisiensi bahan bakar yang tinggi dan mampu menghasilkan tenaga besar dalam waktu yang lama.

## B. Prinsip Kerja Mesin Diesel

Mesin diesel merupakan jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang mengonversi energi kimia dari bahan bakar diesel menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran bersuhu dan bertekanan tinggi. "Bahan bakar diatomisasi oleh *nozzle injector* dan menyala spontan pada suhu dan tekanan tinggi (compression ignition) saat *piston* berada di puncak kompresi, menghasilkan langkah usaha yang mendorong *piston* ke bawah." Pertamina One Solution (2021) Tidak seperti mesin berbahan bakar bensin yang memanfaatkan percikan api dari busi sebagai pemicu pembakaran, mesin diesel memanfaatkan fenomena *auto ignition*, dimana bahan bakar dinyalakan secara spontan akibat tekanan kompresi yang sangat tinggi di dalam ruang bakar.

Proses kerja mesin diesel dapat dibagi menjadi empat langkah, yang biasa disebut dengan siklus empat langkah (*four-stroke cycle*):

1. Pada tahap hisap (*intake stroke*), *piston* bergerak ke arah titik mati bawah (TMB) bersamaan dengan terbukanya katup hisap, sehingga memungkinkan udara segar masuk ke dalam ruang *cylinder*. Berbeda dengan mesin bensin yang mengisap campuran udara dan bahan bakar, mesin diesel hanya mengalirkan udara murni pada fase ini tanpa adanya injeksi bahan bakar.

2. Langkah Kompresi, Kompresi udara ini menghasilkan suhu dan tekanan yang sangat tinggi, hingga mencapai titik dimana bahan bakar diesel yang disemprotkan akan terbakar.
3. Langkah Pembakaran Setelah udara dikompresi, bahan bakar diesel disemprotkan ke dalam ruang bakar melalui *injector*. Karena suhu dan tekanan yang tinggi, bahan bakar langsung terbakar tanpa perlu percikan api. Hal ini menyebabkan peningkatan suhu dan tekanan yang sangat tinggi, dan menciptakan gaya mekanik melalui *piston*
4. Langkah Buang Setelah langkah pembakaran, *piston* bergerak naik kembali untuk mengeluarkan gas buang melalui katup buang. Proses ini mengeluarkan gas hasil pembakaran yang kemudian dibuang ke atmosfer.

Mesin diesel dapat dibedakan berdasarkan beberapa faktor, seperti jenis bahan bakar yang digunakan, jumlah langkah dalam siklus kerjanya, dan aplikasinya. Berikut adalah beberapa jenis mesin diesel yang umum digunakan:

1. Mesin Diesel Empat Langkah

Mesin diesel empat langkah, yang operasinya dijelaskan sebelumnya, banyak dimanfaatkan pada kendaraan besar seperti truk, bus, dan mobil, serta di pembangkit listrik. Mesin ini dikenal karena efisiensi bahan bakar dan daya tahannya yang prima.

2. Mesin Diesel Dua Langkah

Mesin diesel dua langkah bekerja dengan prinsip yang berbeda, dimana hanya ada dua langkah dalam satu siklus kerjanya: langkah hisap dan pembakaran, serta langkah kompresi dan buang. Mesin ini lebih jarang digunakan dibandingkan mesin diesel empat langkah karena memiliki efisiensi yang lebih rendah dan lebih banyak menghasilkan emisi. Namun, mesin diesel dua langkah masih digunakan dalam beberapa aplikasi khusus seperti kapal laut atau peralatan industri berat.

3. Mesin Diesel Injeksi Langsung

dengan menyemprotkan bahan bakar bertekanan tinggi langsung ke

ruang bakar. Sistem ini membuat pembakaran lebih efisien dan hemat bahan bakar. Karena performa yang lebih baik dan emisi yang lebih rendah, teknologi ini banyak dipakai pada kendaraan *modern*.

Mesin diesel memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya sangat populer. Beberapa kelebihan mesin diesel antara lain:

1. Efisiensi Bahan Bakar, mesin diesel lebih hemat bahan bakar dibanding mesin bensin karena proses kompresinya yang lebih tinggi menghasilkan energi lebih banyak per liter. Inilah mengapa diesel menjadi pilihan ideal untuk perjalanan jauh dan aplikasi industri bertenaga besar.
2. Daya Tahan, Mesin diesel umumnya lebih tahan lama daripada mesin bensin. Karena memiliki konstruksi yang lebih kokoh dan proses pembakaran yang lebih stabil, mesin diesel dapat beroperasi lebih lama sebelum mengalami kerusakan atau keausan.
3. Daya dan Torsi Tinggi, Mesin diesel cenderung menghasilkan torsi yang lebih besar pada putaran mesin rendah, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya besar seperti truk, kapal, dan alat berat.
4. Emisi Karbon yang Lebih Rendah, Mesin diesel cenderung menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin bensin. Meskipun mesin diesel menghasilkan lebih banyak nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan partikel, teknologi *modern* telah mengurangi dampak lingkungan ini.

Meskipun mesin diesel memiliki banyak kelebihan, ada beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Beberapa kekurangan mesin diesel antara lain:

1. Emisi Partikel dan Nitrogen Oksida Mesin diesel menghasilkan lebih banyak emisi partikel dan nitrogen oksida dibandingkan dengan mesin bensin. Meskipun teknologi pengendalian emisi seperti filter partikel dan sistem SCR (*Selective Catalytic Reduction*) telah diperkenalkan, emisi ini tetap menjadi masalah lingkungan.

2. Biaya Awal yang Lebih Tinggi: Mesin diesel biasanya lebih mahal daripada mesin bensin, baik dari segi harga beli maupun biaya perawatan. Mesin diesel memerlukan perawatan yang lebih intensif, terutama terkait dengan sistem bahan bakar dan *turbocharger*.
3. Suara dan Getaran yang Lebih Keras: Mesin diesel cenderung lebih bising dan bergetar dibandingkan mesin bensin. Hal ini dapat mengganggu kenyamanan pengemudi atau operator kendaraan.
4. Kebutuhan Bahan Bakar Khusus, Mesin diesel memerlukan bahan bakar khusus yang tidak selalu tersedia di setiap tempat. Meskipun bahan bakar diesel lebih banyak tersedia daripada bensin, distribusinya masih lebih terbatas di beberapa daerah.

### **C. Pengertian Gas Buang Pada Mesin Diesel**

Gas buang adalah gas yang berasal dari suatu proses pembakaran yang suhunya relatif lebih tinggi daripada suhu atmosfer yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan tertentu. Gas buang adalah produk sampingan dari proses pembakaran bahan bakar dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), baik pada mesin bensin, diesel, atau mesin lainnya. Selama proses pembakaran, bahan bakar dicampur dengan udara, dan hasil dari reaksi kimia ini adalah energi yang menggerakkan mesin serta gas-gas buang yang dikeluarkan ke atmosfer. Gas buang ini terdiri dari berbagai komponen yang dapat memiliki dampak besar terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan efisiensi mesin. Oleh karena itu, pemahaman tentang teori gas buang menjadi sangat penting dalam upaya mengurangi dampak negatif dan meningkatkan kinerja mesin.

Gas buang adalah hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar mesin yang keluar melalui sistem pembuangan dan mengandung senyawa seperti  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ , dan  $HC$ . Sutrisno, E. (2017) Seiring dengan berkembangnya teknologi, sistem pembuangan gas buang telah dirancang untuk mengurangi

emisi gas berbahaya dan meningkatkan efisiensi mesin, termasuk sistem seperti *catalytic converter* dan filter partikel.

#### 1. Proses Pembakaran dalam Mesin Pembakaran Dalam

Untuk memahami gas buang secara lebih mendalam, pertama-tama kita harus memahami proses pembakaran dalam mesin pembakaran dalam. Proses ini terjadi di ruang bakar mesin, dimana bahan bakar dicampur dengan udara dan kemudian dibakar untuk menghasilkan energi yang menggerakkan *piston*. Pada mesin diesel, pembakaran terjadi tanpa percikan api karena bahan bakar disuntikkan ke dalam udara yang telah dikompresi.

Kompresi ini membuat suhu udara sangat tinggi sehingga bahan bakar langsung terbakar begitu disemprotkan. Pembakaran pada mesin diesel menghasilkan lebih banyak nitrogen oksida ( $NO_x$ ) dan partikel (PM) dibandingkan dengan mesin bensin. Pembentukan gas ini dipengaruhi oleh suhu pembakaran yang tinggi dan tingkat oksigen yang ada di ruang bakar.

produk pembakaran campuran udara bahan bakar dapat dibedakan yaitu;

##### a. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara, bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.

##### b. Pembakaran tak sempurna

Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehid, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

##### c. Pembakaran dengan udara berlebihan

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen

(*NO* dan *NO2*). Disamping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida halogenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidrokarbon ringan yang teremisi dari sistem bahan bakar.

## 2. Tingginya suhu gas buang

Suhu gas buang merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam operasional mesin pembakaran dalam, baik itu pada mesin bensin maupun mesin diesel. Selama proses pembakaran bahan bakar, gas yang dihasilkan akan melalui saluran pembuangan, dan suhu gas buang ini mempengaruhi banyak aspek kinerja mesin, seperti efisiensi bahan bakar, emisi, serta performa komponen mesin lainnya. Suhu gas buang yang tinggi dapat menunjukkan pembakaran yang efisien, tetapi jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan kerusakan pada komponen mesin atau bahkan menurunkan efisiensi mesin secara keseluruhan.

Pada mesin pembakaran dalam, suhu gas buang yang tinggi sering kali berkaitan dengan peningkatan suhu di ruang bakar. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu pembakaran yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang bakar. Meskipun suhu gas buang yang tinggi bisa meningkatkan efisiensi mesin, jika tidak dikendalikan dengan baik, dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai komponen, seperti katup, *turbocharger*, dan *exhaust system*.

## 3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Suhu Gas Buang

Suhu gas buang dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang ada selama proses pembakaran. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan akhirnya berpengaruh terhadap suhu gas buang yang dihasilkan.

### a. Jenis Bahan Bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan dalam mesin sangat mempengaruhi suhu pembakaran dan suhu gas buang. Mesin diesel, yang menggunakan bahan bakar diesel, cenderung

menghasilkan suhu pembakaran yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin karena bahan bakar diesel memiliki energi lebih besar per volume dan pembakaran yang lebih efisien pada tingkat kompresi yang tinggi. Bahan bakar yang berkualitas rendah atau tidak sesuai dengan spesifikasi mesin juga dapat menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna, yang dapat menghasilkan suhu gas buang yang lebih tinggi akibat pembakaran yang tidak efisien.

b. Tingkat Kompresi

Mesin diesel biasanya memiliki tingkat kompresi yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin. Pada mesin diesel, tingkat kompresi yang lebih tinggi menghasilkan suhu yang lebih tinggi di dalam ruang bakar, yang meningkatkan efisiensi pembakaran dan menghasilkan lebih banyak energi. Namun, tingkat kompresi yang lebih tinggi juga berkontribusi pada suhu gas buang yang lebih tinggi. Mesin dengan tingkat kompresi yang lebih rendah, seperti pada mesin bensin, umumnya menghasilkan suhu gas buang yang lebih rendah.

c. Kecepatan Putaran Mesin (*RPM*)

Kecepatan putaran mesin (*revolutions per minute/RPM*) mempengaruhi jumlah bahan bakar yang dibakar dan jumlah udara yang masuk ke mesin. Pada putaran mesin yang lebih tinggi, pembakaran terjadi lebih cepat dan lebih banyak, yang menghasilkan suhu gas buang yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada putaran mesin yang lebih rendah, pembakaran lebih lambat, dan suhu gas buang cenderung lebih rendah.

4. Dampak Suhu Gas Buang yang Tinggi

Suhu gas buang yang tinggi dapat memiliki berbagai dampak terhadap kinerja mesin, efisiensi bahan bakar, serta dampak lingkungan. Berikut adalah beberapa dampak negatif dari suhu gas buang yang terlalu tinggi:

a. Kerusakan pada Komponen Mesin

Suhu gas buang yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai komponen mesin, seperti katup, *turbocharger*, dan sistem pembuangan. Katup dapat mengalami deformasi atau keausan yang cepat jika terpapar suhu yang terlalu tinggi. *Turbocharger*, yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan udara masuk, juga dapat mengalami kerusakan akibat suhu gas buang yang tinggi, yang dapat menyebabkan kerusakan pada bilah turbin dan kompresor. Selain itu, pipa dan saluran pembuangan juga bisa terdegradasi lebih cepat.

b. Penurunan Efisiensi Mesin

Suhu gas buang yang tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi mesin. Jika gas buang terlalu panas, sebagian energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar akan hilang sebagai panas, bukan digunakan untuk menggerakkan mesin. Hal ini dapat mengurangi output tenaga mesin dan menyebabkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi. Mesin yang beroperasi pada suhu yang lebih tinggi juga dapat mengurangi usia pakai komponen penting, seperti *piston* dan *cylinder*.

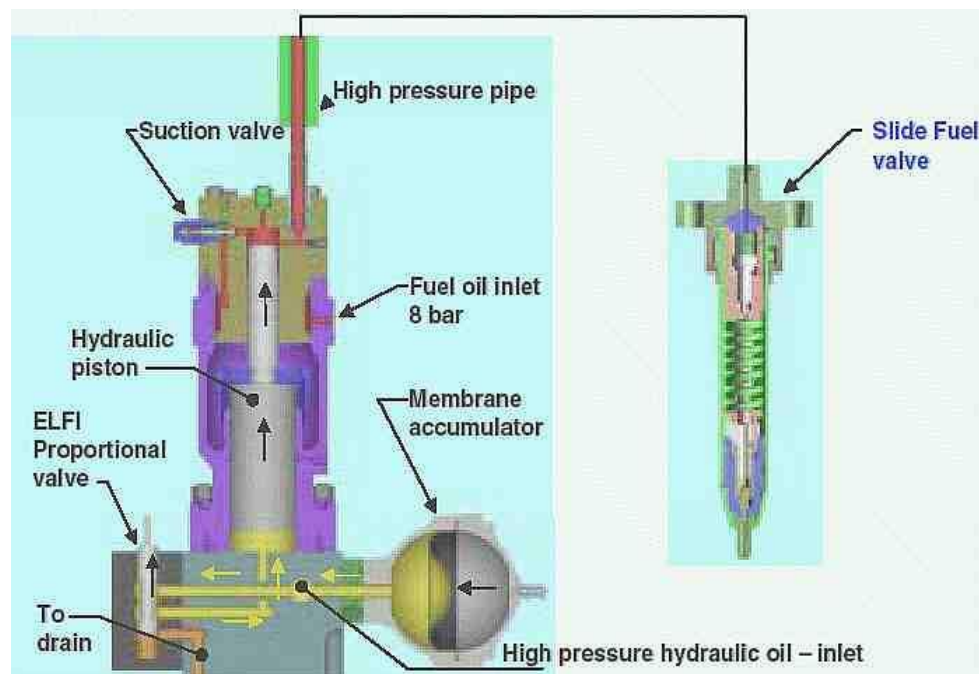
c. Emisi yang Lebih Tinggi

Suhu gas buang yang tinggi sering kali berhubungan dengan pembakaran yang lebih efisien, tetapi dalam beberapa kasus dapat menyebabkan peningkatan emisi gas berbahaya. Pembakaran yang terjadi pada suhu yang terlalu tinggi dapat menghasilkan lebih banyak nitrogen oksida (*NOx*), yang berkontribusi pada polusi udara dan masalah kesehatan. Oleh karena itu, pengelolaan suhu gas buang yang baik sangat penting dalam upaya mengurangi emisi kendaraan.

## D. Sistem Pemasukan Bahan Bakar

Mesin diesel menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energi. Sistem bahan bakar diperlukan untuk mendistribusikan bahan bakar ke ruang bakar, yang dapat dilakukan melalui dua jenis saluran: saluran tunggal dan saluran gabungan (*common rail*). Sistem *common rail* memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih baik pada suhu bahan bakar tinggi dan tekanan injeksi yang stabil. Djohari, (2020). Pengaturan pemasukan bahan bakar terdiri dari tiga sistem:

1. Mengatur pemasukan dengan mengubah langkah efektif plunyer melalui katup isap.
2. Mengatur langkah efektif pompa dengan membuka saluran isap pompa.
3. Kombinasi dari sistem A dan B, ditambah katup aliran kembali untuk menyetel pemasukan bahan bakar.



**Gambar 2. 1 Sistem Pemasukan Bahan Bakar Ke Injector**

Sumber : [dieselnet.com](http://dieselnet.com)

Sistem bahan bakar pada mesin diesel dirancang dengan sangat presisi agar mampu bekerja optimal ditekanan tinggi. Kotoran atau air dalam bahan bakar dapat merusak komponen penting seperti pompa

injeksi dan *nozzle*, sehingga kebersihan bahan bakar harus dijaga. Untuk itu, bahan bakar harus disaring secara efektif menggunakan filter berkualitas tinggi agar tidak menyumbat sistem, terutama dibagian *nozzle*. Selain itu, bahan bakar dalam tangki harus selalu bersih, dan aliran bahan bakar harus melewati beberapa tahap penyaringan sebelum masuk ke mesin.

Adapun tahapan-tahapan yang dilalui aliran bahan bakar sebelum masuk ke mesin yakni:

a. *Double Bottom Tank*

Tempat penyimpanan awal bahan bakar dari bunker. Bahan bakar Dipompa ke *Settling Tank* menggunakan *Transfer Pump*.

b. *Settling Tank*

Berfungsi untuk pengendapan kotoran dan air. Dilengkapi dengan pemanas untuk membantu pengendapan dan menjaga viskositas bahan bakar.

c. *Purifier (Separator)*

Memisahkan air dan kotoran dari bahan bakar secara mekanis. Bahan bakar bersih akan dialirkan ke *Daily Service Tank*.

d. *Daily Service Tank*

Terdiri dari dua tangki: untuk *Heavy Oil* dan *Diesel Oil*. Menyediakan bahan bakar siap pakai ke sistem utama.

e. *Mixing Tank*

Menampung bahan bakar dari *Daily Service Tank* Serta Menyediakan campuran stabil dan suhu merata sebelum dikirim ke *engine* dan Terhubung dengan *Fuel Return Line* untuk sirkulasi bahan bakar berlebih dari *engine*.

f. *Flow Meter*

Mengukur aliran bahan bakar menuju mesin.

g. *Booster Pump*

Meningkatkan tekanan bahan bakar sebelum pemanasan lebih lanjut.

h. *Heater*

Meningkatkan suhu bahan bakar agar mencapai viskositas optimal.

i. *Viscosity Regulator*

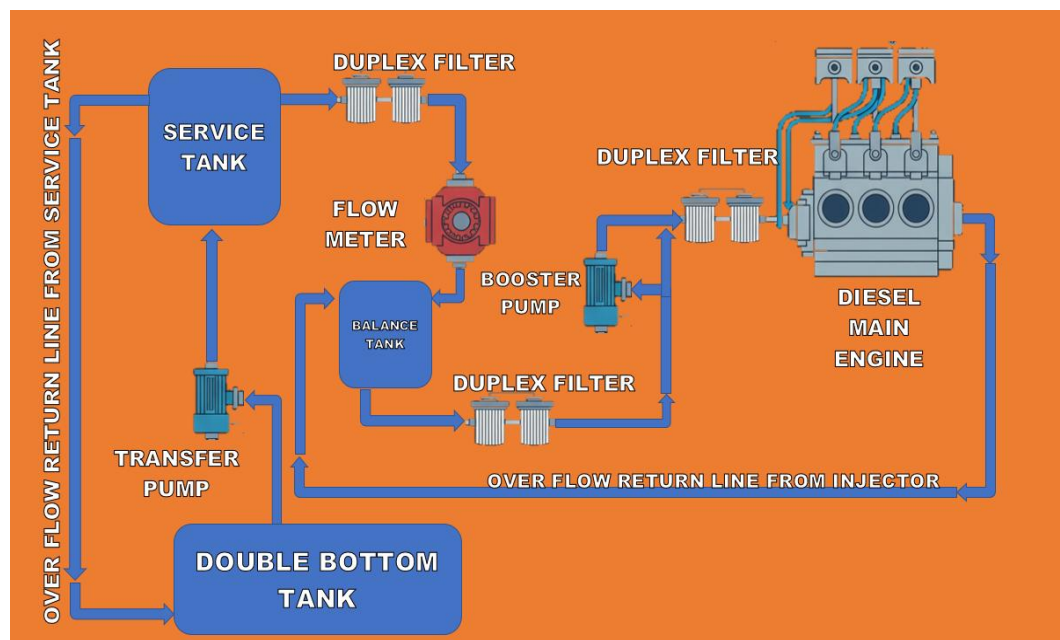
Mengontrol suhu pemanasan agar viskositas bahan bakar tetap stabil sesuai kebutuhan mesin.

j. *Bypass Valve & Filter duplex*

*Bypass Valve* mengatur aliran bahan bakar saat tekanan terlalu tinggi. *Duplex filter* menyaring bahan bakar dari kotoran sebelum mencapai fuel pump.

k. *bosch Pumps*

Memberikan tekanan tinggi agar bahan bakar dapat disemprotkan ke dalam ruang bakar mesin induk



**Gambar 2. 2 Alur Treatment Bahan Bakar**

Sumber : <https://www.kapaldanlogistik.com/>

Bahan mudah terbakar dan oksigen mengalami reaksi kimia yang dikenal sebagai pembakaran pada volume dan suhu tertentu”. Ada tiga elemen penting agar pembakaran terjadi, yaitu:

1. Oksigen/udara

Udara segar dan oksigen keduanya diperlukan untuk pembakaran.

2. Bahan bakar

Penggunaan bahan bakar khusus untuk mesin diesel, seperti solar, adalah metode pembakaran untuk mesin diesel.

### 3. Sumber nyala/panas

Mesin diesel menghasilkan panas untuk pembakaran melalui kompresi *cylinder* tekanan tinggi.



**Gambar 2. 3 Segitiga Api**

Sumber : Polinema Press (2020)

Istilah "segitiga pembakaran" merujuk pada tiga elemen penting yang diperlukan untuk terjadinya pembakaran. Proses pembakaran hanya dapat terjadi apabila tiga elemen utama bahan bakar, oksigen, dan sumber panas tersedia secara bersamaan dalam jumlah yang cukup Kusuma, (2020). Jika salah satu elemen hilang, pembakaran tidak akan terjadi. Dalam kondisi tertentu, bahan bakar dapat terbakar secara alami tanpa sumber penyalaan, yang dikenal sebagai pembakaran spontan, ketika oksigen bersentuhan langsung dengan bahan bakar.

Untuk mencapai pembakaran yang sempurna, jumlah bahan bakar harus sebanding dengan udara yang masuk ke ruang pembakaran. Syarat ini dapat dipenuhi dengan cara berikut:

1. Bahan bakar harus bersih dari kotoran padat dan cair.
2. Suhu bahan bakar harus sesuai dengan ketentuan tertentu.
3. Kecepatan keluaran bahan bakar dari pengabut harus cukup tinggi.
4. Udara pembakar harus bergerak dengan kecepatan yang memungkinkan pencampuran yang baik dengan bahan bakar.

Pembakaran terjadi saat *piston* berada di Titik Mati Atas (TMA), sehingga bahan bakar harus disemprotkan sesaat sebelum *piston* mencapainya. Namun, dalam praktiknya, proses ini tidak selalu sesuai teori. Kecepatan penyalaan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, Susunan kimia bahan bakar, Kelebihan udara, Kualitas pencampuran udara dan bahan bakar, Tekanan dan suhu udara pembakaran.

Efisiensi proses pembakaran dalam mesin diesel meningkat ketika titik injeksi bahan bakar mencapai tekanan maksimum, karena tekanan tinggi memungkinkan atomisasi bahan bakar menjadi lebih halus dan menyebar secara merata di dalam ruang bakar. Hal ini berkontribusi pada pencampuran yang lebih baik antara bahan bakar dan udara, yang menjadi syarat utama untuk pembakaran sempurna.

Proses pembakaran pada mesin diesel terjadi di dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dimana gas hasil pembakaran berfungsi sebagai fluida kerja yang mendorong *piston* untuk menghasilkan tenaga mekanik. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi mekanik melalui langkah kerja dalam *cylinder*.

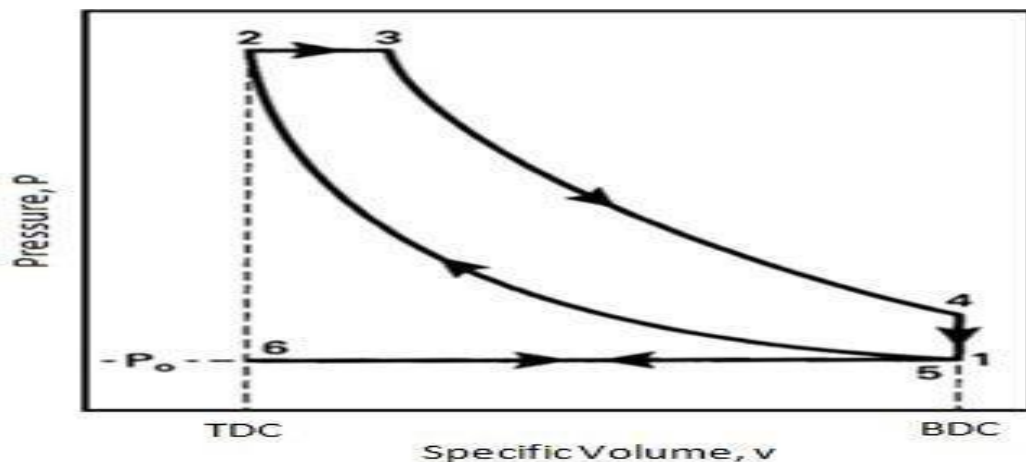
Pada mesin diesel, pembakaran dimulai ketika bahan bakar disemprotkan dalam bentuk kabut halus ke dalam *cylinder* yang telah berisi udara panas bertekanan tinggi, biasanya pada suhu akhir kompresi sekitar 900 K (627 °C). Heywood, (1988). Udara yang dikompresi ini menyebabkan bahan bakar menyala secara spontan, tanpa memerlukan busi, sehingga dikenal sebagai *self-ignition* atau penyalaan otomatis.

Mesin diesel menggunakan *piston* yang bergerak bolak-balik dalam beberapa *cylinder*. Oksigen dari udara dan bahan bakar diesel terbakar dalam ruang bakar, menghasilkan gas panas yang mendorong *piston* melalui batang penggerak (*connecting rod*) yang kemudian memutar poros engkol (*crankshaft*). Setiawan & Hidayat, (2023).

Sistem penyalaan pada mesin diesel berbeda dengan mesin bensin. "Pada mesin 2-tak, penyemprotan bahan bakar terjadi setiap

putaran poros engkol, sedangkan pada mesin 4-tak, terjadi sekali setiap dua putaran". Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, (2007). Perbandingan tekanan dan suhu kompresi yang lebih tinggi menjadikan mesin diesel lebih efisien secara termal dibandingkan mesin bensin.

Rudolf Diesel menciptakan mesin ini pada tahun 1892 dan memperkenalkan siklus termodinamika diesel, yang berbeda dari siklus Otto karena penambahan panas dilakukan pada tekanan tetap, bukan volume tetap. Hal ini dapat dijelaskan melalui diagram P-v, dimana karakteristik pembakaran mesin diesel ditunjukkan dengan garis tekanan konstan saat proses pembakaran berlangsung.



**Gambar 2. 4 Siklus Diagram P-v Mesin**

Sumber : Nofica, Gian And Syaiful, Dr., St, Mt (2012)

Perkembangan siklusnya adalah sebagai berikut :

6-1 = Langkah Hisap pada  $P = c$  (isobarik)

1-2 = Langkah Kompresi,  $P$  naik, dan  $Q$  sama dengan  $c$  (adiabatik isentropik/reversibel).

2-3 = Pembakaran pada tekanan konstan (isobarik)

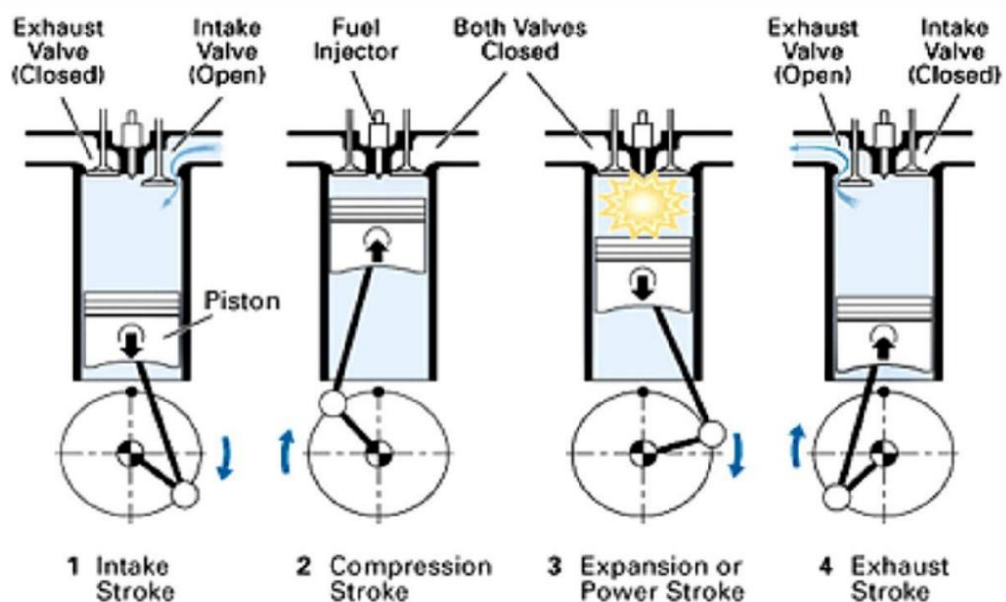
3-4 = Langkah Kerja  $P$  bertambah,  $V = c$  (adiabatik isentropik/reversibel).

4-5 = Pengeluaran Panas Sisa pada  $V = c$  (isokhorik)

5-6 = Langkah Buang di  $P = c$

Mesin diesel empat langkah beroperasi ketika membuat empat gerakan (dua putaran engkol) untuk menyelesaikan satu tugas. Berikut ini adalah penjelasan diagram cara kerja motor diesel empat langkah :

1. Langkah Hisap ( *suction or intake stroke* )  
Katup buang tertutup dan katup masuk terbuka terjadi pada langkah ini *Cylinder* menerima aliran udara.
2. Langkah Kompresi ( *compression stroke* )  
Pada langkah ini, katup masuk dan katup buang sama-sama tertutup.  
*Piston* bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) menuju TMA (Titik Mati Atas) sehingga udara di dalam *cylinder* mengalami pemampatan. Akibat kompresi yang tinggi, temperatur dan tekanan udara meningkat drastis hingga cukup untuk membakar bahan bakar yang nantinya akan diinjeksikan pada langkah berikutnya.
3. Langkah Ekspansi ( *power or expansion stroke* )  
Bahan bakar disuntikkan ke dalam *cylinder* pada suhu tinggi; akibatnya bahan bakar terbakar dan mengembang, memaksa *piston* bergerak hingga menyentuh TMB. Pada titik ini, kedua katup ditutup.
4. Langkah Buang ( *exhaust stroke* )  
Katup buang terbuka dan katup masuk tetap tertutup saat *piston* mendekati TMB. Pembakaran yang tersisa terbangun keluar dari



**Gambar 2. 5 Siklus Mesin Diesel 4 Tak**

ruang bakar saat *piston* bergerak menuju TMA. Ketika *piston* mencapai TMA, Langkah selesai Siklus berlanjut.

Sumber : Nofica, Gian And Syaiful, Dr., St, Mt (2012)

### E. Pengertian *Injector*

Pengabut bahan bakar minyak atau *Injector* adalah suatu alat untuk menyemprotkan bahan bakar minyak menjadi kabut halus atau gas yang akan mempermudah gas tersebut terbakar di dalam *cylinder* mesin. Handoyo, (dalam Dwi Nur Halimah, 2020). Semakin halus pengabutan bahan bakar minyak tersebut sampai membentuk “gas” maka akan semakin sempurna pembakaran yang dihasilkannya sehingga nilai kalor sebagai sumber tenaga mesin juga akan maksimal.



**Gambar 2. 7 *Injector* MAK 8M20**

Sumber : KM. PANGRANGO

*Injector* merupakan komponen utama dalam sistem bahan bakar mesin diesel yang bertugas menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk kabut halus ke dalam ruang bakar. Peran *injector* sangat krusial karena memengaruhi proses pengabutan, pencampuran udara-bahan bakar, hingga pembakaran itu sendiri. Efektivitas *injector* sangat bergantung pada tekanan bahan bakar, waktu penyemprotan, serta kualitas atomisasi yang dihasilkan. Tanpa proses injeksi yang baik, efisiensi pembakaran akan menurun dan emisi gas buang akan meningkat.

Setiap elemen, mulai dari viskositas bahan bakar hingga desain *nozzle*, saling memengaruhi dalam menentukan kinerja akhir mesin diesel.

1. *Injector* sebagai Alat Penyemprot Bahan Bakar

*Injector* menyemprotkan bahan bakar bertekanan tinggi ke ruang bakar setelah dikompresi oleh pompa bahan bakar. Proses ini memerlukan *timing*, tekanan, dan pola penyemprotan yang tepat agar bahan bakar dapat bercampur merata dengan udara dalam *cylinder*. Tanpa *injector*, distribusi bahan bakar tidak merata, menyebabkan pembakaran tidak sempurna.

2. *Fogging* (Pengabutan)

*Fogging* adalah proses penyemprotan bahan bakar cair menjadi kabut halus melalui *nozzle*. Tujuannya adalah untuk mempermudah pencampuran bahan bakar dengan udara panas, sehingga partikel yang lebih halus dapat terbakar lebih cepat, merata, dan mengurangi emisi gas buang.

3. Pembakaran dalam *Cylinder*

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar yang dikabutkan dan udara panas hasil kompresi. Proses ini dikenal sebagai self-ignition, dimana bahan bakar menyala tanpa busi karena suhu tinggi (500–700°C). Tiga elemen penting dalam pembakaran adalah bahan bakar yang baik, udara terkompresi, dan panas dari kompresi. Pembakaran menghasilkan tekanan tinggi yang mendorong *piston*, mengubah energi kimia menjadi energi mekanik.

4. Gas Buang (*Exhaust Gas*)

Gas buang adalah hasil akhir dari pembakaran yang keluar melalui saluran buang. Gas ini terdiri dari  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO_x$ , partikel, dan  $CO$ , serta membawa sisa panas dari pembakaran. Suhu gas buang sering digunakan sebagai indikator performa pembakaran. Peningkatan suhu yang tidak normal dapat menunjukkan masalah

seperti pembakaran tidak sempurna, gangguan pada *injector*, atau *overload* pada *cylinder*.

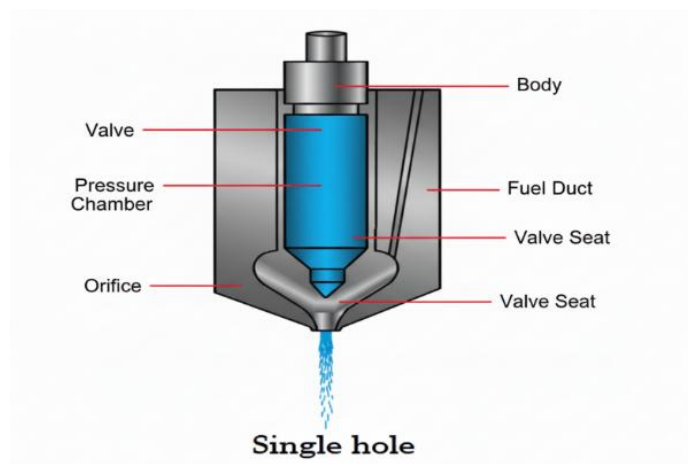
Desain dan karakteristik *injector* harus disesuaikan dengan jenis ruang bakar dan proses pembakaran yang digunakan pada mesin diesel. Pemilihan jenis *injector* tidak hanya berdasarkan jumlah lubang pada *nozzle*, melainkan juga mempertimbangkan bentuk dan arah semprotan, tekanan kerja, serta kesesuaian dengan bentuk ruang bakar (*combustion chamber*). Setiap jenis *injector* memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing yang memengaruhi efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, dan tingkat emisi gas buang. Adapun jenis-jenis dari *injector* sebagai berikut:

#### 1. *Injector* Berlubang (*Hole-Type Injector*)

*Injector* tipe ini dibedakan menjadi dua berdasarkan jumlah lubang pada ujung *nozzle*, yaitu *single-hole injector* dan *multiple-hole injector*.

##### a. *Injector* berlubang satu (*Single hole*)

*Injector nozzle single hole* adalah *injector* dengan satu lubang injeksi, memiliki sudut semprotan sekitar 4–15°. Semprotan bahan bakarnya berbentuk tirus dan tidak terlalu halus, sehingga umumnya digunakan pada mesin diesel dengan ruang bakar berpusaran udara agar pencampuran udara–bahan bakar tetap merata.

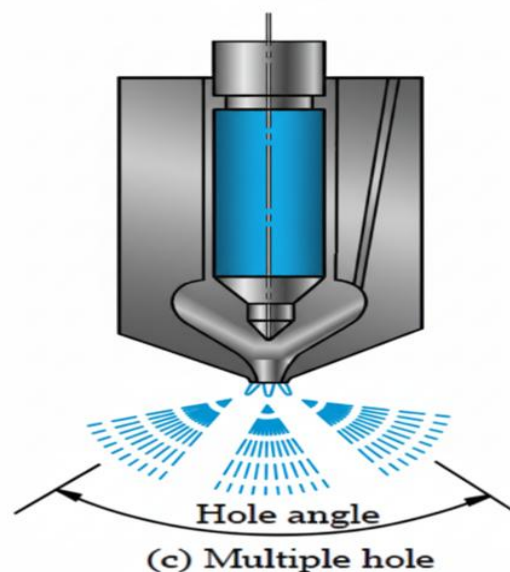


**Gambar 2. 8 *Injector* Berlubang Satu**

Sumber : [www.vegburner.com](http://www.vegburner.com).

b. *Injector* berlubang banyak (*Multiple hole*)

*Injector nozzle* multi-hole adalah *nozzle* dengan beberapa lubang injeksi pada ujungnya. Bahan bakar disemprotkan dalam bentuk kabut halus langsung ke ruang bakar. Tipe ini sangat cocok untuk mesin diesel *direct injection*, karena mampu menyebarkan semprotan secara luas ke ruang bakar yang dangkal. Semakin banyak jumlah lubang, semakin kecil ukuran tiap lubang sehingga membutuhkan bahan bakar yang lebih bersih untuk mencegah penyumbatan.

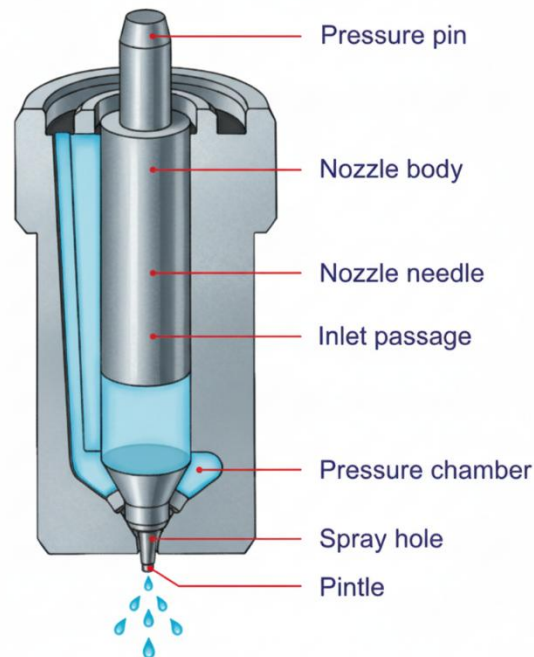


**Gambar 2. 9 *Injector* Berlubang Banyak (*Multiple-Hole*)**  
Sumber : <https://www.slideshare.net/types fuel injection system>

2. *Injector* model *pintle*

Untuk mesin diesel dengan ruang bakar yang memiliki ruang bakar, ruang depan, dan ruang pusar (*turbulen*), *Injector* model *pintle* lebih cocok. *Nozzle* jenis ini dipergunakan untuk motor diesel dengan sistem kamar depan dan kamar pusar, dipasang dengan katup-katup ujung-ujungnya mempunyai batang atau pena yang disebut "*Pintle*" yang bentuknya disesuaikan dengan bentuk semprotan yang diinginkan.

*Pintle* terpasang pada lubang *nozzle* membentuk ruang melingkar, *Nozzle* jenis ini bekerja secara seragam dan teliti serta gerakannya akan mencegah pembentukan kerak karbon ujung *nozzle*. Ketepatan proses pembakaran di dalam *cylinder* sangat dipengaruhi oleh *Injector* sebagai alat penyemprot bahan bakar. Selain itu, *Injector* mengandung komponen penting.



**Gambar 2. 10 Injector Model Pintle**

Sumber : [https://www.slideshare.net/types fuel injection system](https://www.slideshare.net/types-fuel-injection-system)

#### **F. Bagian – Bagian *Injector***

*Injector* terdiri dari beberapa komponen penting yang bekerja secara terpadu untuk mengatur tekanan dan waktu penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Setiap bagian memiliki peran spesifik yang saling mendukung dalam proses atomisasi bahan bakar.

### 1. *Nozzle Holder*



**Gambar 2. 11 Nozzle Holder**

Sumber : <https://www.geraiteknologi.com>

*Nozzle holder* berfungsi sebagai penopang *nozzle* serta menentukan posisi dan arah semprotan. Komponen ini juga berperan dalam mengatur tekanan awal bahan bakar sebelum penginjeksian dimulai, yaitu saat *valve* pada *nozzle* terbuka.

### 2. *Over flow pipe*

*Overflow pipe* berfungsi untuk mengalirkan kembali sisa bahan bakar yang tidak terpakai selama proses injeksi. Sistem pengembalian ini bertujuan untuk menghindari tekanan berlebih dalam *injector* dan menjaga suhu kerja tetap stabil. Bahan bakar yang tidak digunakan dialirkan melalui saluran balik (*return line*) menuju tangki bahan bakar atau sistem pendingin.

### 3. *Adjusting washer*

*Adjusting washer* merupakan komponen penyesuai tekanan semprotan bahan bakar, terletak di antara pegas tekanan dan penutup *injector*. Dengan mengatur ketebalannya, teknisi dapat menyesuaikan besarnya tekanan buka (*opening pressure*) *nozzle* sesuai spesifikasi pabrik. Namun perlu dicatat *Injector modern* dengan sistem *common rail* tidak menggunakan *adjusting washer*, karena tekanan bahan bakar diatur secara elektronik oleh ECU melalui aktuator *piezoelectric* atau *solenoid*.

#### 4. *Pressure Spring*



**Gambar 2. 12 *Pressure Spring***

Sumber : KM Pangrango

*Pressure spring* memiliki dua fungsi utama:

- a. Mengembalikan posisi *nozzle needle* setelah proses injeksi selesai, agar lubang injeksi tertutup kembali.
- b. Menentukan tekanan buka *injector* secara tidak langsung. Gaya pegas harus diatasi oleh tekanan bahan bakar untuk membuka *nozzle*. Semakin kaku pegas, semakin tinggi tekanan yang dibutuhkan.

#### 5. *Pressure pin*



**Gambar 2. 13 *Pressure Pin***

Sumber : <https://www.lcdrkj.com/injector-pressure-pin>.

*Pressure pin* berfungsi sebagai penghubung antara gaya tekanan dari pegas ke *nozzle needle*. Komponen ini memastikan bahwa tekanan dari bahan bakar atau pegas tersalurkan dengan presisi ke bagian yang membuka saluran semprot.

6. *Distance piece* .

*Distance piece* merupakan komponen multifungsi yang menjadi jalur aliran bahan bakar dari pompa ke *nozzle* serta dudukan bagi *pressure spring*. Meskipun berukuran kecil, komponen ini sangat penting untuk menjaga presisi dan stabilitas kerja *injector*.

7. *Nozzle Needle*



**Gambar 2. 14 Nozzle Needle**

Sumber : <https://www.diesel-injectorparts.com>

berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang akan dikabutkan melalui mulut pengabut. Jarum pengabut ditekan pada bidang penutup oleh pegas penutup dengan tekanan yang dapat diatur dengan perantara baut tekan.

8. *Nozzle Body*



**Gambar 2. 15 Nozzle Body**

Sumber : <https://www.injector-nozzle.com>

*Nozzle body* adalah tempat dudukan jarum pengabut serta jalur saluran bahan bakar dan *orifice* (lubang semprot). Keakuratan dimensi dan kebersihan *nozzle body* sangat memengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar. Pemeriksaan dan perawatan berkala sangat diperlukan untuk mencegah gangguan pembakaran.

## 9. *Retaining nut*



**Gambar 2. 16 *Retaining Nut***

Sumber : <https://hurricanediesel.co.za/>

berfungsi untuk *Body* komponen bagian bawah. Oleh karena itu *Retaining Nut* juga akan melindungi berbagai komponen *Injector nozzle* dari kerusakan.

### **G. Cara Kerja *Injector***

*Injector* berfungsi menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk kabut halus ke ruang bakar pada tekanan tinggi, mencapai lebih dari 300 bar pada mesin konvensional dan hingga 2000 bar pada mesin *common rail modern*. Atomisasi bahan bakar bertujuan untuk memperbesar luas permukaan yang bersentuhan dengan udara, mempercepat penguapan, dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Berikut tahapan Kerja *Injector*:

#### 1. Sebelum Penginjeksian

Bahan bakar dari pompa injeksi bertekanan tinggi dialirkan ke *nozzle holder* dan terkumpul di ruang kecil di bawah *nozzle (oil pool)*. Pada tahap ini, tekanan bahan bakar belum cukup untuk membuka jarum pengabut karena tekanan pegas. Faktor penting disini adalah:

- Tekanan awal bahan bakar Harus cukup tinggi untuk melampaui tekanan pegas.
- Kondisi pegas Harus dalam kondisi baik untuk memastikan pembukaan *nozzle* sesuai spesifikasi.

#### 2. Penginjeksian Bahan Bakar

Ketika tekanan bahan bakar meningkat dan melebihi gaya tekanan pegas, jarum pengabut terbuka, dan bahan bakar

disemprotkan melalui *nozzle*, menghasilkan kabut halus. Kualitas penginjeksian dipengaruhi oleh:

- a. Diameter lubang *nozzle* Lubang lebih kecil menghasilkan kabut lebih halus.
  - c. Tekanan injeksi Semakin tinggi, semakin baik atomisasi.
  - d. Viskositas bahan bakar Bahan bakar dengan viskositas rendah lebih mudah diatomisasikan emisi.
3. Akhir Penginjeksian

Setelah aliran bahan bakar dihentikan, tekanan dalam *oil pool* menurun, dan jarum *nozzle* kembali ke posisi semula, menutup lubang semprotan. Tahap ini penting untuk mencegah *After-dripping* atau kebocoran bahan bakar setelah injeksi dan *Over-fueling* Penyemprotan berlebih yang dapat meningkatkan emisi. Sisa bahan bakar mengalir melalui saluran bocoran kembali ke sistem bahan bakar, berfungsi untuk mendinginkan dan melumasi komponen *injector*.

## H. Faktor-Faktor Penyebab Gangguan pada *Injector*

*Injector* adalah komponen vital dalam sistem bahan bakar mesin diesel, terutama pada mesin induk kapal. Fungsinya adalah menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar dalam bentuk kabut halus untuk menciptakan pencampuran optimal dengan udara terkompresi. Proses ini kunci untuk menghasilkan pembakaran efisien, tenaga maksimal, dan emisi gas buang yang terkendali.

Kinerja *injector* dipengaruhi oleh kondisi operasional kapal, jenis bahan bakar, dan tingkat perawatan. Gangguan *injector* sering disebabkan oleh sumbatan pada lubang *nozzle* akibat partikel dan endapan karbon, sehingga mengganggu atomisasi bahan bakar dan menurunkan efisiensi pembakaran. Supardi, dkk (2022). Berikut adalah faktor-faktor penyebab gangguan *injector*:

1. Kualitas Bahan Bakar yang Buruk

Bahan bakar diesel yang terkontaminasi air, sulfur tinggi, atau partikel padat dapat merusak komponen *injector*, terutama *nozzle* dan *needle*. Kontaminan ini dapat menyumbat lubang injeksi dan mempercepat keausan. Penggunaan fuel separator dan sistem filtrasi ganda sangat dianjurkan.

2. *Overheating* (Suhu Operasi yang Terlalu Tinggi)

Suhu ekstrem (300–600 °C) dapat menyebabkan pemuaian berlebihan pada logam *nozzle* dan *needle*, mengakibatkan macet. Perawatan sistem pendingin secara berkala penting untuk mencegah kondisi ini.

3. Endapan Karbon (*Carbon Build-Up*)

Karbon sisa dari pembakaran yang tidak sempurna dapat menempel di *nozzle*, mempersempit lubang semprotan, dan mengganggu pola semprotan. Pembersihan *injector* secara berkala diperlukan untuk menjaga kualitas semprotan.

4. Jam Kerja yang Melebihi Batas Tanpa Perawatan

Setiap *injector* memiliki umur kerja yang disarankan (misalnya 6.000–8.000 jam). Melebihi jam kerja ini tanpa perawatan dapat menyebabkan keausan mekanis. Pemeriksaan rutin dan pembersihan *nozzle* sangat dianjurkan.

5. Pelumasan Tidak Memadai dari Bahan Bakar

*Injector* mengandalkan pelumasan dari bahan bakar diesel. Jika bahan bakar tercampur air atau berkualitas rendah, gesekan antara *nozzle* dan *needle* meningkat, menyebabkan keausan. Campuran bahan bakar dengan kadar air hanya 0,5% dapat menurunkan kemampuan pelumasan hingga 60%.

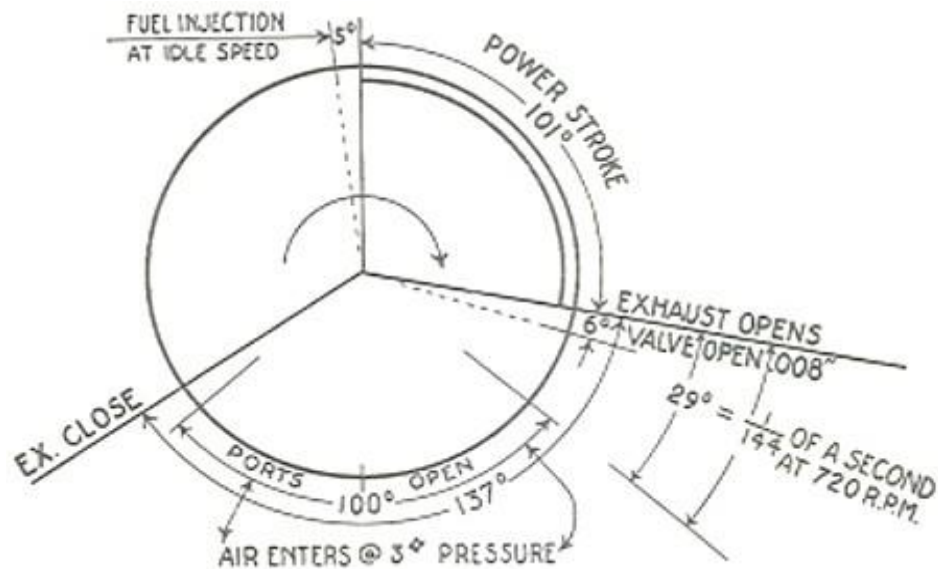
6. Kesalahan Instalasi atau Setelan Tekanan yang Tidak Sesuai

Kalibrasi tekanan injeksi yang tidak sesuai dapat menyebabkan kabut yang tidak halus atau merusak *nozzle*.

Memahami penyebab gangguan *injector* sangat penting bagi teknisi dan *engineer* kapal. Jika tidak ditangani, masalah ini dapat menurunkan kinerja mesin, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan

membahayakan keselamatan pelayaran. Oleh karena itu, perlu dilakukan inspeksi berkala, menggunakan bahan bakar berkualitas, dan menerapkan prosedur perawatan sistematis untuk menjaga efisiensi dan keselamatan operasional kapal.

### I. Persyaratan Pengabutan Pada *Injector*



**Gambar 2. 17** *Timing kecepatan pengabutan Injector*

Sumber : <http://www.marineengineering.org.uk/wpimage>.

ada 4 persyaratan yang harus terpenuhi agar *Injector* dapat bekerja dengan baik, Persyaratan sistem injeksi harus memenuhi persyaratan berikut karena merupakan sistem yang sangat penting, khususnya:

#### 1. Dosis (Penakaran)

Dosis bahan bakar harus akurat, dengan setiap *cylinder* menerima jumlah yang sama untuk setiap langkah mesin. Hal ini memastikan bahwa bahan bakar yang dikirim sesuai dengan beban mesin, sehingga mesin dapat beroperasi dengan kecepatan yang stabil.

#### 2. Kecepatan Injeksi Bahan Bakar

Kecepatan injeksi mengacu pada jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar per satuan waktu atau derajat perjalanan engkol. Jika kecepatan injeksi terlalu tinggi, bahan

bakar akan disuntikkan dalam waktu singkat, sedangkan kecepatan yang lebih rendah memerlukan *nozzle* dengan lubang lebih kecil untuk memperpanjang durasi injeksi. Kecepatan injeksi mempengaruhi kinerja mesin, terlalu tinggi dapat menyebabkan injeksi awal, sedangkan terlalu rendah dapat menyebabkan injeksi terlambat.

### 3. Pengabutan Bahan Bakar

Bahan bakar harus disemprotkan menjadi kabut yang sesuai dengan jenis ruang bakar. Pengabutan yang efektif memudahkan kontrol pembakaran, memastikan bahan bakar dikelilingi oleh partikel oksigen, sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran.

### 4. Distribusi

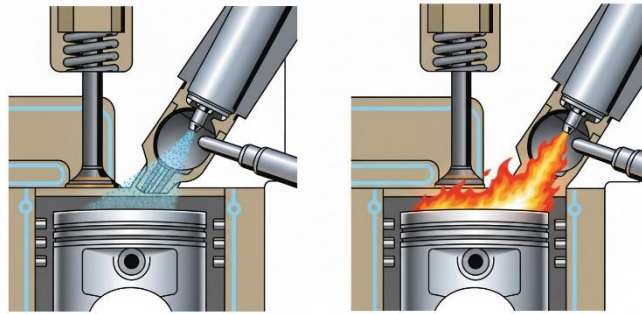
Distribusi bahan bakar harus merata diseluruh ruang bakar yang mengandung oksigen. Jika distribusi tidak baik, sebagian oksigen tidak akan dimanfaatkan, mengakibatkan tenaga mesin yang rendah.

## J. Proses Pengabutan

Dengan menggunakan pompa bahan bakar, yang juga disebut sebagai pompa *Bosch*, "*Bosch Pump* bekerja secara mekanis dengan bantuan *camshaft* untuk menghasilkan tekanan tinggi yang akan mendorong bahan bakar ke dalam *nozzle injector*. Saat tekanan mencapai titik tertentu, jarum *nozzle* terangkat dan bahan bakar diinjeksikan ke dalam *cylinder* dalam bentuk kabut." Poltekel Banten, 2021),

Kondisi berikut harus dipenuhi agar proses pembakaran penuh terjadi di dalam *cylinder* seperti yang diamati dari sisi *Injector* Mengenai cara penyemprotan bahan bakar dan pembentukan campuran dikenal dua sistem utama, *Injector* langsung dan tidak langsung berbeda dalam hal berikut:

#### 1. Penyemprotan Tidak Langsung



**Gambar 2. 18 Injeksi tidak langsung (*Precombustion chamber*)**

Sumber : gemini AI

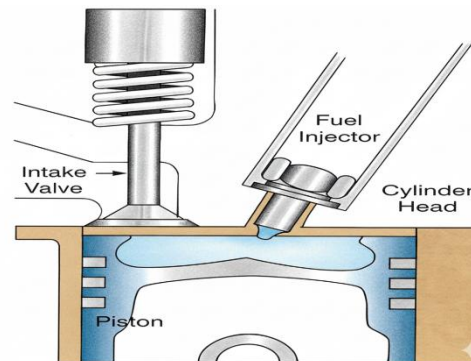
“*Injector* akan menyemprotkan bahan bakar terlebih dahulu ke *precombustion chamber*. Ketika itu bahan bakar akan terbakar sebagian kecilnya di *precombustion chamber*, sebagian lagi akan menuju ke ruang bakar utama. Dan disaat waktu yang pas, maka bahan bakar seluruhnya yang telah terurai menjadi partikel halus akan terbakar di ruang utama.” Santoso, (2019).

tekanan injeksi sekitar  $\pm 100$  bar, lebih rendah dibandingkan sistem injeksi langsung yang bisa melebihi 300 bar. Meskipun tekanan lebih rendah, pembakaran tetap efektif berkat suhu tinggi pada dinding ruang pendahuluan yang mempercepat penguapan dan penyalaan. Keuntungannya adalah penyalaan cepat dan ketidakpekaan terhadap kualitas bahan bakar, serta operasi mesin yang lebih halus. Namun, kelemahannya meliputi:

- a. Efisiensi Thermal Rendah: Kerugian panas dan aliran menyebabkan efisiensi mesin lebih rendah dibandingkan injeksi langsung (Bosch, 1996).
- b. Konsumsi Bahan Bakar Tinggi: Energi hilang lebih banyak sebelum digunakan untuk mendorong *piston*.
- c. Sulit Dinyalakan Di Suhu Rendah: Membutuhkan perangkat bantu seperti glow plug untuk start mesin dalam kondisi dingin.
- d. Pembatasan Daya Mesin: Kapasitas mesin IDI terbatas, kurang cocok untuk aplikasi berat seperti truk atau kapal besar. Sistem ini umumnya digunakan pada mesin berputar tinggi, dengan

ruang pendahuluan yang mencakup 25% hingga 60% dari total volume ruang pembakaran.

## 2. Penyemprotan Langsung (*Direct injection*)



**Gambar 2. 19 Injeksi langsung (*Direct combustion*)**

Sumber : Gemini AI

injeksi langsung pada motor diesel cara kerjanya adalah nozzle menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk kabut ke dalam *cylinder* sehingga proses pembakarannya terjadi secara serempak. Sistem penyemprotan langsung diterapkan pada motor putaran rendah dan motor putaran menengah dan pada bagian besar motor putaran tinggi.

Bahan bakar dengan tekanan tinggi (pada motor putaran rendah hingga 1000 bar dan pada motor putaran menengah yang bekerja dengan bahan bakar berat hingga 1500 bar), disemprotkan ke dalam ruang pembakaran yang tidak dibagi. Agar proses pembakaran berlangsung bersamaan, injeksi langsung pada mesin diesel bekerja dengan menyemprotkan bahan bakar berupa kabut ke dalam *cylinder* (ruang bakar).

Injeksi langsung memiliki keuntungan sebagai berikut dibandingkan injeksi tidak langsung (*Precombustion*) Sedangkan penggunaan bahan bakar *direct injection* lebih efektif, untuk *precombustion* yang lebih presisi. Sementara respon mesin injeksi langsung (Percepatan) lebih unggul, umur komponen induk mesin *precombustion* lebih lama.

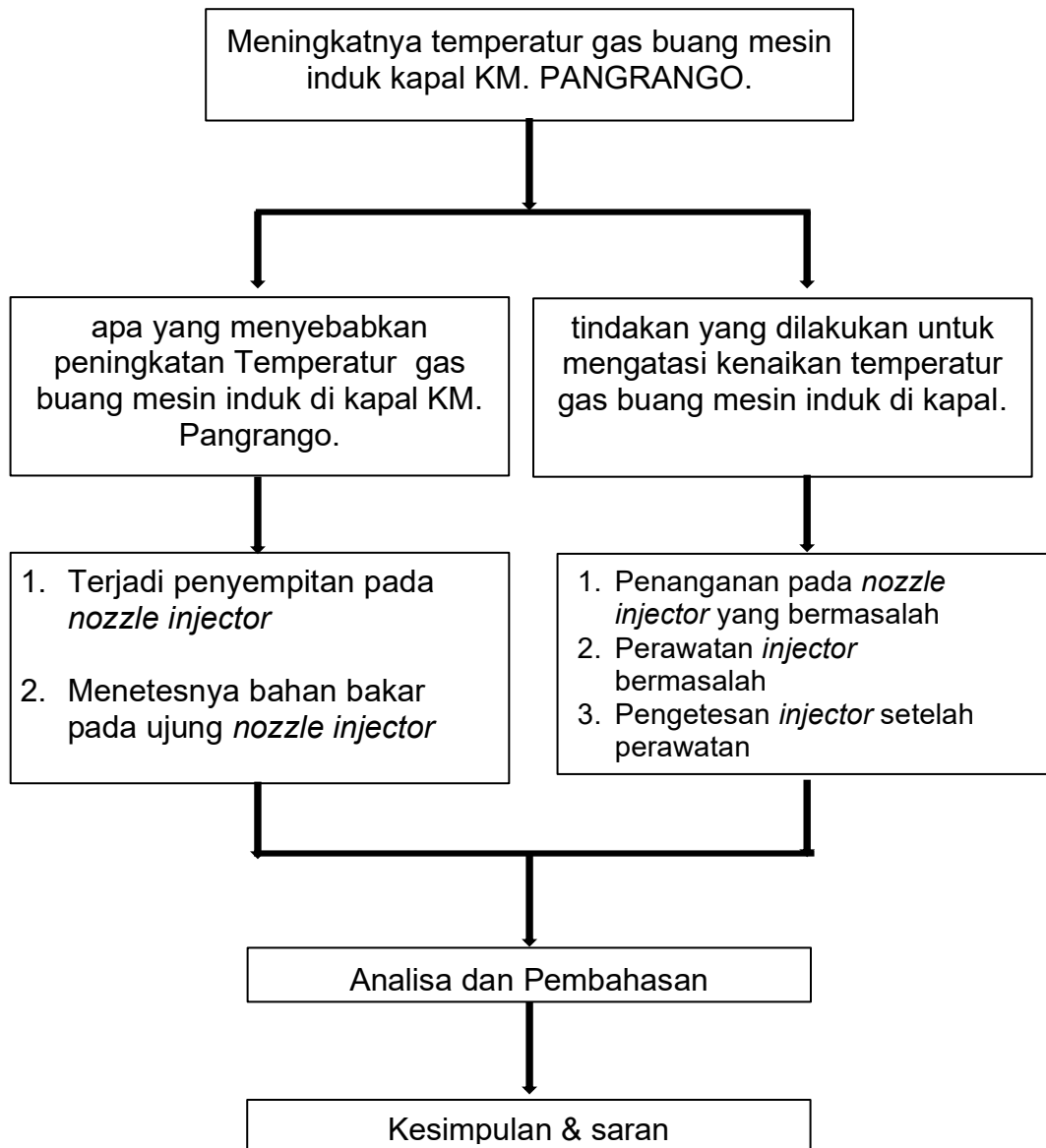
Mesin injeksi langsung memiliki waktu yang lebih mudah untuk memulai karena *nozzle* pra-pembakaran tidak mudah kotor atau tersumbat. Karena polusi udara yang lebih sedikit dan kapasitas pendinginan injeksi langsung yang lebih sedikit dengan *precombustion*, prosesnya lebih ramah lingkungan. Injeksi langsung memiliki tenaga kuda yang lebih besar, namun pra-pembakaran berpotensi menggunakan bahan bakar yang lebih berat (lebih banyak energi).

Pemeliharaan diperlukan untuk mencegah bahan-bahan yang dapat mencemari sistem bahan bakar minyak dan mempengaruhi fungsi *Injector*, khususnya Dengan menggunakan pembersih dan filter bahan bakar untuk menjaga agar bahan bakar minyak bebas dari air dan endapan (pemurni). Agar tidak ada udara di dalam sistem.

Menjaga tidak ada kebocoran. Dengan menggunakan pembersih dan filter bahan bakar untuk menjaga agar bahan bakar minyak bebas dari air dan endapan (pemurni). Agar tidak ada udara di dalam sistem.

## K. Kerangka Pikir

Tabel 2. 1 Kerangka Pikir



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah penelitian deskriptif kualitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai fenomena yang terjadi di lapangan, khususnya yang berkaitan dengan penyebab meningkatnya temperatur gas buang pada mesin induk kapal KM. PANGRANGO.

Melalui pendekatan kualitatif, penulis berusaha memahami secara mendalam kondisi nyata yang terjadi pada sistem kerja *Injector* mesin induk, serta faktor-faktor teknis yang memengaruhi performa pembakaran hingga menyebabkan kenaikan temperatur gas buang. Penelitian ini tidak menggunakan perhitungan statistik atau pengujian laboratorium, tetapi lebih menekankan pada proses analisis data hasil observasi, dokumentasi manual, serta literatur yang relevan.

Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan Tujuan utama dari jenis penelitian ini untuk memperoleh pemahaman yang utuh mengenai fenomena teknis yang terjadi pada sistem *Injector* mesin diesel sebagai komponen penting dalam proses pembakaran. Dalam penelitian ini, penulis berupaya menelusuri faktor-faktor penyebab meningkatnya temperatur gas buang, khususnya yang berkaitan dengan penyempitan lubang *nozzle* dan menetesnya bahan bakar pada ujung *nozzle* yang dapat mengakibatkan pembakaran tidak sempurna.

Hal ini dianalisis melalui observasi langsung, dokumentasi teknis, serta kajian literatur terhadap sistem kerja dan perawatan komponen *Injector*. Jenis penelitian ini juga bersifat studi kasus, karena objek penelitian difokuskan pada satu unit kapal, yakni KM. PANGRANGO milik PT. PELAYARAN NASIONAL INDONESIA (PELNI). Studi kasus ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang

mendalam tentang kondisi mesin induk kapal secara spesifik dalam kurun waktu tertentu

## B. Definisi Operasional Variabel

Dalam penelitian ini, definisi operasional variabel bertujuan untuk memberikan batasan yang jelas mengenai objek yang diamati agar proses analisis lebih terarah dan fokus. Karena penelitian ini bersifat kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus di atas kapal KM. Pangrango, maka variabel-variabel dalam penelitian ini tidak dinyatakan dalam bentuk angka atau skala, melainkan diuraikan secara naratif dan deskriptif sesuai dengan kondisi aktual yang terjadi di lapangan.

Variabel utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah penyebab meningkatnya temperatur gas buang pada mesin induk kapal. Variabel ini dipahami sebagai suatu kondisi teknis yang menunjukkan adanya gangguan pada sistem pembakaran mesin diesel, khususnya pada komponen *injector*, yang dapat menyebabkan peningkatan suhu gas buang disalah satu atau beberapa *cylinder* mesin. Dalam praktiknya, variabel ini diamati melalui observasi langsung di atas kapal, dokumentasi, serta wawancara teknis bersama awak mesin.

Agar penelitian tetap berada dalam koridor yang sesuai, variabel ini dipahami dari sisi kerusakan atau penyimpangan kinerja *injector*, seperti terjadinya penyempitan lubang *nozzle*, menetesnya bahan bakar dari ujung *nozzle*, serta gangguan pada pola pengabutan. Selain itu, kondisi lingkungan operasional mesin dan kebiasaan perawatan mesin induk juga dipertimbangkan sebagai bagian dari variabel yang diamati. Artinya, variabel ini tidak diukur secara kuantitatif, melainkan dijelaskan melalui pemahaman teknis dan analisis logis berdasarkan data empiris di atas kapal.

Dengan merumuskan variabel secara operasional seperti ini, peneliti dapat lebih fokus dalam menggali informasi-informasi yang berkaitan dengan penyebab naiknya temperatur gas buang, tanpa keluar dari jalur penelitian. Hal ini juga menjadi pedoman dalam

menyusun pembahasan di bab-bab selanjutnya agar tetap relevan dengan tujuan awal penelitian.

### **C. Teknik Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan secara terpadu melalui beberapa metode utama yang sesuai dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Teknik pengumpulan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang akurat dan mendalam mengenai kondisi aktual dilapangan secara mendalam.

Teknik observasi dilakukan dengan cara mengamati secara langsung kondisi mesin induk di atas kapal, khususnya pada komponen *injector*. Observasi ini mencakup identifikasi visual terhadap kondisi fisik *injector*, pelaksanaan perawatan, serta pencatatan kondisi saat terjadi peningkatan suhu gas buang. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk melihat gejala atau tanda-tanda teknis secara faktual dan kontekstual di lingkungan kerja mesin.

Sementara itu, Dokumentasi digunakan sebagai teknik pelengkap dalam memperoleh data tertulis yang berkaitan dengan operasional mesin dan perawatan *injector*. Data yang dikumpulkan berasal dari *log book* mesin, catatan perawatan berkala, gambar teknis *injector*, serta manual mesin yang digunakan di atas kapal. Melalui dokumentasi ini, peneliti dapat menelusuri riwayat kejadian teknis, jadwal perawatan pada mesin induk.

Dengan menggunakan kedua teknik ini, peneliti dapat memperoleh data yang mendalam, faktual, dan sesuai dengan kenyataan di lapangan. Teknik observasi dan dokumentasi ini juga memberikan gambaran menyeluruh terhadap penyebab meningkatnya temperatur gas buang tanpa perlu melibatkan data kuantitatif maupun wawancara sebagai instrumen pendukung. Hal ini sejalan dengan pendekatan kualitatif deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini, yang lebih menekankan pada pengungkapan kondisi aktual di lapangan secara naratif dan analitis.

#### **D. Teknik Analisis Data**

Proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, dimulai dari tahapan reduksi data, penyajian data, hingga penarikan kesimpulan. Pendekatan analisis ini dilakukan secara deskriptif kualitatif karena sesuai dengan sifat penelitian yang tidak menggunakan data numerik, melainkan berfokus pada penggambaran fenomena yang terjadi di lapangan secara mendalam.

Reduksi data merupakan tahap awal yang dilakukan dengan cara menyaring dan memilih informasi yang dianggap relevan terhadap fokus penelitian, yaitu meningkatnya temperatur gas buang pada mesin induk kapal KM. PANGRANGO. Data yang diperoleh melalui observasi langsung dan dokumentasi dianalisis untuk mengeliminasi informasi yang tidak berkaitan langsung, sehingga hanya data yang mendukung kajian terhadap kondisi *injector*, proses pembakaran, dan sistem perawatan mesin yang akan digunakan.

Selanjutnya, penyajian data dilakukan dalam bentuk narasi deskriptif. Data disusun secara sistematis berdasarkan tema utama yang berkaitan dengan permasalahan, seperti gejala peningkatan temperatur gas buang, kondisi teknis *injector*, serta pola perawatan yang diterapkan di atas kapal. Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai situasi teknis di lapangan, sehingga memudahkan dalam menarik kesimpulan yang tepat.

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan, yang dilakukan dengan menafsirkan hubungan antar data yang telah disusun. Dalam tahap ini, peneliti mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang menyebabkan naiknya temperatur gas buang, serta merumuskan simpulan dan saran teknis yang dapat dijadikan acuan dalam upaya pencegahan gangguan serupa di masa mendatang.

## **E. Jadwal Penelitian**

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

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

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

Setelah proses analisis selesai, peneliti melanjutkan ke tahap penyusunan laporan penelitian yang dituangkan dalam bentuk skripsi. Setiap tahapan disesuaikan dengan kalender akademik dan kesiapan

teknis di lapangan. Adapun rincian waktu pelaksanaan tiap tahapan ditampilkan secara lengkap dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	2022											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengajuan Judul roposal												
2.	Bimbingan Proposal												
		Tahun 2023											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.	Bimbingan Proposal												
4.	Seminar Proposal												
5.	Pengambilan Data Penelitian (PRALA)												
		Tahun 2024											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6.	Pengambilan Data Penelitian (PRALA)												
7.	Penyusunan Data penelitian												
		Tahun 2025											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8.	Bimbingan Skripsi												
9.	Seminar Hasil												
10.	Perbaikan Seminar Hasil												
11.	Seminar Tutup												