

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Mesin Diesel Laut

Mesin diesel laut merupakan sistem propulsi utama yang banyak digunakan pada kapal niaga karena memiliki efisiensi termal yang tinggi serta mampu menghasilkan tenaga besar dalam operasi jangka panjang. Mesin diesel dua langkah berkecepatan rendah umumnya digunakan sebagai *Main Engine* pada kapal besar karena memiliki kemampuan menghasilkan torsi yang besar pada putaran rendah serta konsumsi bahan bakar yang relatif efisien dibandingkan sistem propulsi lainnya. Selain itu, mesin diesel laut dirancang untuk dapat menggunakan bahan bakar berat seperti heavy fuel oil (HFO) yang lebih ekonomis untuk operasi kapal jarak jauh (Fu et al., 2026; Zhu et al., 2023)

Dalam sistem kerja mesin diesel, proses pembakaran terjadi akibat kompresi udara di dalam silinder yang kemudian diikuti dengan penyemprotan bahan bakar melalui sistem injeksi bertekanan tinggi. Efisiensi pembakaran sangat dipengaruhi oleh kualitas atomisasi bahan bakar, tekanan injeksi, serta distribusi bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Apabila salah satu parameter tersebut tidak bekerja secara optimal maka kinerja mesin dapat mengalami penurunan yang signifikan (Wang et al., 2022; Liu et al., 2024).

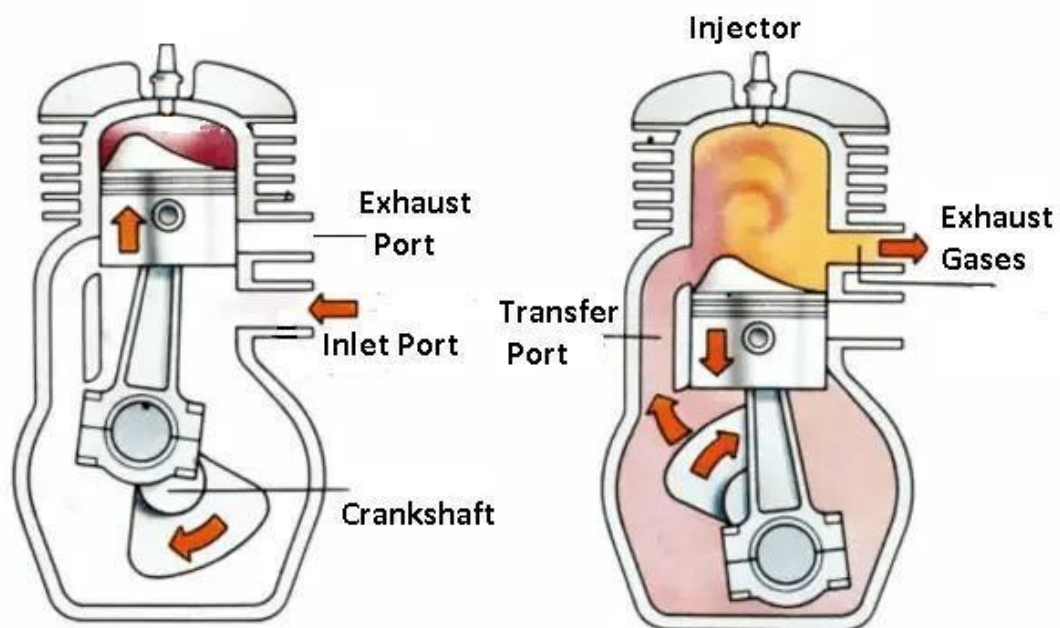
B. Prinsip Kerja Mesin Diesel Dua Langkah

Mesin diesel dua langkah bekerja melalui dua tahapan utama yaitu langkah kompresi dan langkah ekspansi. Pada langkah kompresi udara dimampatkan hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi, kemudian bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran spontan. Energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut kemudian diubah menjadi energi mekanik oleh

piston yang menggerakkan poros engkol (Heywood, 2023; Liu et al., 2024).

Efisiensi mesin diesel sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran yang terjadi di dalam silinder. Faktor seperti tekanan injeksi bahan bakar, waktu injeksi, dan kualitas atomisasi bahan bakar memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa mesin serta emisi gas buang yang dihasilkan (Wang et al., 2022; Robinson et al., 2025).

Gambar 2.1 Prinsip Dua Langkah



Two stroke cycle diesel engine

Sumber: theengineerspost, Tahun 2008

C. Sistem Bahan Bakar Mesin Diesel Kapal

Sistem bahan bakar pada mesin diesel kapal berfungsi untuk menyimpan, memurnikan, serta menyalurkan bahan bakar menuju ruang bakar dengan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti fuel tank, fuel transfer pump, fuel filter, *fuel injection pump*, dan *injector* (Liu et al., 2024; Wang et al., 2022).

Kinerja sistem bahan bakar sangat menentukan efisiensi operasi mesin diesel karena sistem ini mengatur jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar serta tekanan penyemprotannya. Gangguan pada sistem bahan bakar dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna yang pada akhirnya menurunkan performa mesin serta meningkatkan konsumsi bahan bakar (Robinson et al., 2025; Zhu, 2023).

D. Karakteristik Bahan Bakar Heavy Fuel Oil

Heavy fuel oil merupakan bahan bakar yang umum digunakan pada mesin diesel kapal karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi serta ketersediaan yang melimpah dalam industri pelayaran. Namun bahan bakar ini memiliki karakteristik viskositas yang tinggi sehingga memerlukan proses pemanasan dan penyaringan sebelum digunakan dalam sistem bahan bakar mesin (Zhu et al., 2023; Zhang et al., 2024). Karakteristik fisik dan kimia bahan bakar seperti viskositas, densitas, serta kandungan sulfur sangat mempengaruhi proses pembakaran pada mesin diesel. Variasi karakteristik bahan bakar dapat mempengaruhi kualitas atomisasi bahan bakar serta efisiensi pembakaran di dalam ruang bakar (Wang et al., 2022; Fu, 2025).

E. Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi bahan bakar merupakan bagian penting dari sistem bahan bakar yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dalam bentuk kabut halus. Atomisasi bahan bakar yang baik memungkinkan bahan bakar bercampur secara optimal dengan udara sehingga menghasilkan pembakaran yang efisien (Liu et al., 2024; Wang et al., 2022).

Tekanan injeksi bahan bakar menjadi faktor utama dalam menentukan kualitas atomisasi bahan bakar. Semakin tinggi tekanan injeksi maka ukuran partikel bahan bakar yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga proses pembakaran dapat berlangsung lebih cepat dan efisien (Zhu et al., 2023; Robinson et al., 2025).

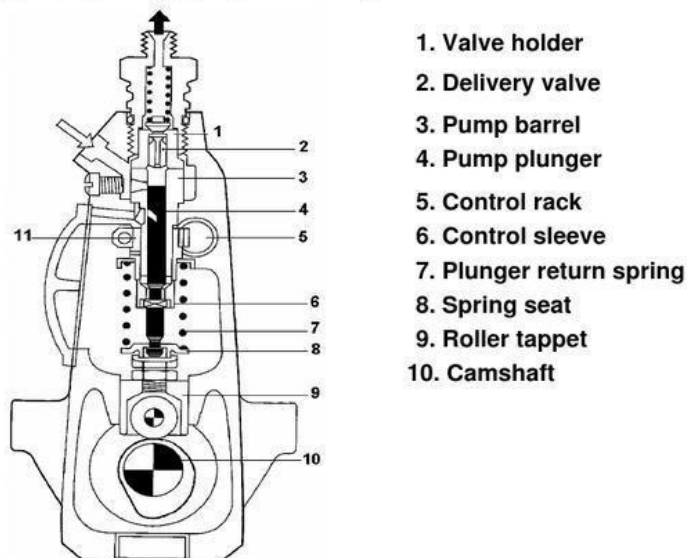
F. Bosch Fuel injection pump

Bosch *fuel injection pump* merupakan komponen yang berfungsi untuk menaikkan tekanan bahan bakar sebelum dialirkan menuju *injector*. Pompa ini bekerja dengan mekanisme piston dan camshaft yang menghasilkan tekanan tinggi sehingga bahan bakar dapat disemprotkan ke ruang bakar dalam bentuk kabut halus (Wang et al., 2022; Liu et al., 2024).

Selain meningkatkan tekanan bahan bakar, Bosch pump juga berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan serta waktu injeksi bahan bakar. Ketepatan pengaturan tersebut sangat penting untuk menjaga stabilitas pembakaran dan efisiensi mesin diesel (Robinson et al., 2025; Zhu et al., 2023).

Gambar 2.2 *Fuel injection pump*

A- type Fuel Injection Pump



Sumber: ru.scribd, Tahun 2011

1. Plunger dan Barrel (Elemen Pemompa)

Plunger dan barrel merupakan komponen inti yang membentuk elemen pemompa (pumping element). Plunger bergerak naik turun di dalam barrel akibat dorongan camshaft, sehingga bahan bakar

yang berada di dalam ruang kompresi mengalami peningkatan tekanan hingga mencapai tekanan injeksi.

Plunger dilengkapi dengan alur heliks yang berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar. Ketelitian celah antara plunger dan barrel sangat tinggi (mikron), sehingga keausan kecil dapat menyebabkan kebocoran internal yang berdampak pada penurunan tekanan injeksi.

Gambar 2.3 Plunger & Barrel



Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Camshaft dan Tappet (Penggerak Mekanis)

Camshaft berfungsi untuk mengubah gerakan putar menjadi gerakan translasi pada plunger. Camshaft memiliki tonjolan (cam lobe) yang menekan tappet atau roller, yang kemudian meneruskan gaya ke plunger.

Tappet berfungsi sebagai perantara antara camshaft dan plunger, serta mengurangi gesekan melalui roller. Keausan pada camshaft

atau tappet dapat menyebabkan langkah plunger tidak maksimal, sehingga tekanan bahan bakar menurun.

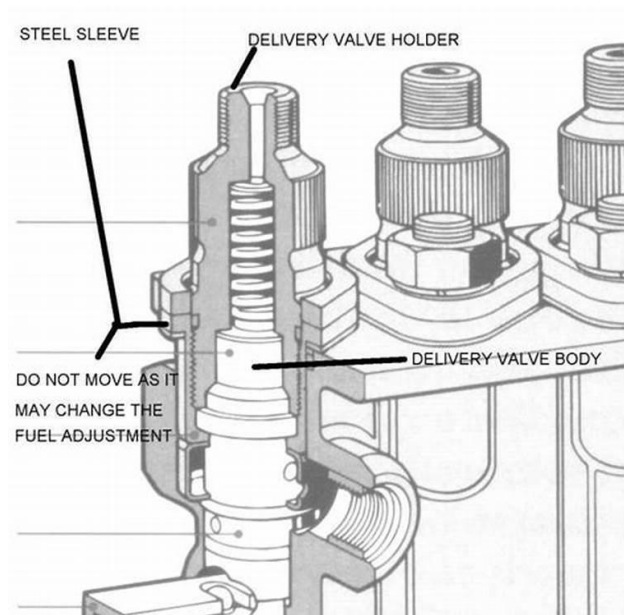
3. Delivery Valve (Katup Tekanan Tinggi)

Delivery valve merupakan katup satu arah yang berfungsi mengatur aliran bahan bakar bertekanan tinggi menuju *injector*. Katup ini akan membuka saat tekanan meningkat dan menutup secara cepat saat tekanan turun.

Fungsi utama delivery valve:

- a. Mencegah aliran balik bahan bakar
- b. Menghentikan injeksi secara cepat
- c. Menghindari tetesan bahan bakar (after-drip)

Gambar 2.4 Delivery Valve



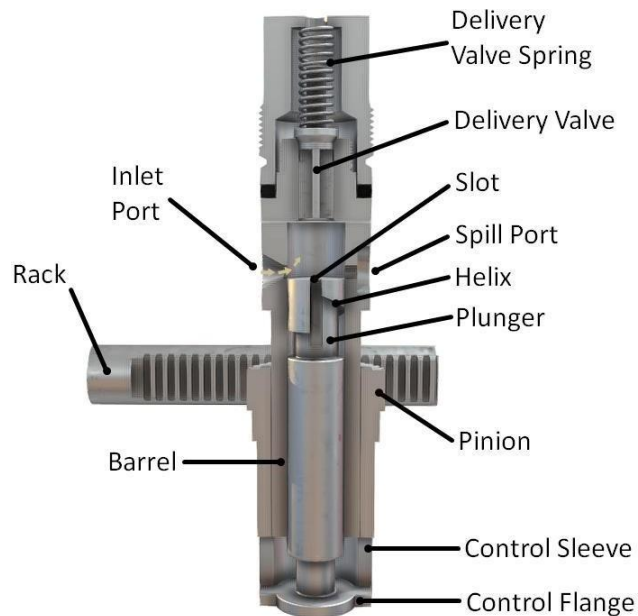
Sumber: Kemsoracing, Tahun 2024

4. Fuel Rack dan Control Sleeve (Pengatur Jumlah Bahan Bakar)

Fuel rack berfungsi mengatur jumlah bahan bakar dengan cara memutar plunger melalui control sleeve. Perputaran plunger mengubah posisi alur heliks sehingga menentukan volume bahan bakar yang dipompa.

Komponen ini bekerja bersama governor untuk menyesuaikan suplai bahan bakar sesuai dengan kebutuhan mesin.

Gambar 2.5 Fuel Rack



Sumber: British Diesel Systems, Tahun 2024

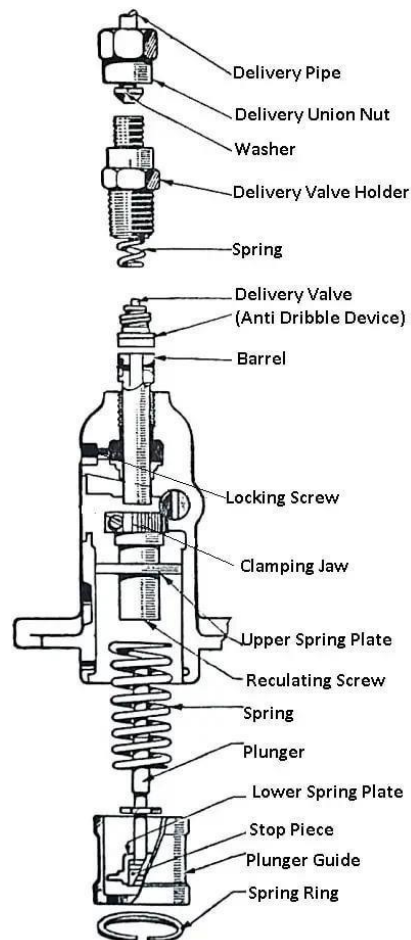
5. Spring (Pegas Pengembali)

Spring berfungsi untuk mengembalikan plunger ke posisi semula setelah ditekan oleh camshaft. Selain itu, spring juga terdapat pada delivery valve untuk membantu proses penutupan katup secara cepat.

Kelemahan atau kerusakan pada spring dapat menyebabkan:

- a. Tekanan tidak stabil
- b. Keterlambatan injeksi
- c. Penurunan performa mesin

Gambar 2.6 Spring



Sumber: The Engineers Post, Tahun 2024

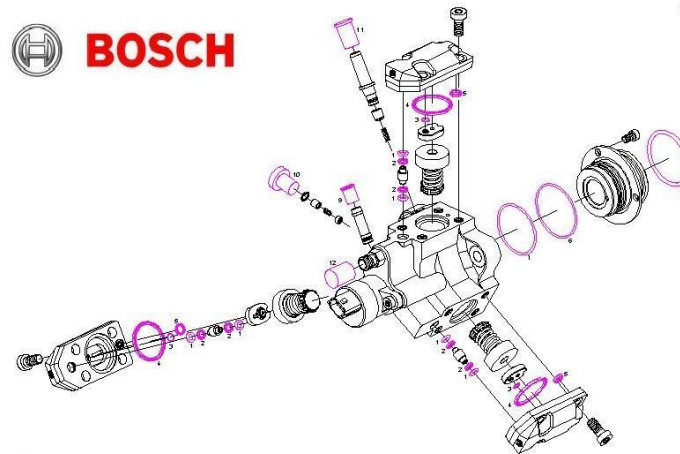
6. Seal (Seal dan O-Ring / Packing)

Seal atau O-ring berfungsi untuk mencegah kebocoran bahan bakar pada sambungan antar komponen. Seal sangat penting untuk menjaga tekanan tetap stabil di dalam sistem.

Kerusakan seal dapat disebabkan oleh:

- Temperatur tinggi
- Tekanan tinggi
- Keausan material

Gambar 2.7 Seal



Sumber: British Diesel Systems, Tahun 2024

7. Pump Housing dan Sistem Pelumasan

Pump housing merupakan rangka utama yang menampung seluruh komponen pompa. Di dalamnya terdapat sistem pelumasan yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen seperti camshaft, tappet, dan plunger.

Pelumasan yang tidak optimal dapat menyebabkan:

- a. Keausan komponen lebih cepat
- b. Overheating
- c. Penurunan kinerja pompa

G. Tekanan Injeksi Bahan Bakar

Tekanan injeksi merupakan parameter penting dalam sistem pembakaran mesin diesel karena menentukan kualitas atomisasi bahan bakar. Tekanan injeksi yang tinggi memungkinkan bahan bakar terpecah menjadi partikel kecil sehingga mudah bercampur dengan udara (Wang et al., 2022; Liu et al., 2024).

Penurunan tekanan injeksi dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna yang ditandai dengan peningkatan konsumsi bahan bakar serta peningkatan emisi gas buang (Zhu, 2023; Robinson et al., 2025).

H. Proses Atomisasi Bahan Bakar

Atomisasi bahan bakar merupakan proses pemecahan bahan bakar menjadi partikel kecil ketika disemprotkan melalui *injector*. Proses ini sangat penting dalam memastikan bahan bakar dapat bercampur secara merata dengan udara pembakaran (Liu et al., 2024; Wang et al., 2022).

Kualitas atomisasi dipengaruhi oleh tekanan injeksi, karakteristik bahan bakar, serta desain nozzle *injector* (Zhu, 2023; Robinson et al., 2025).

I. Proses Pembakaran Mesin Diesel

Pembakaran pada mesin diesel terjadi ketika bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara bertekanan tinggi akibat proses kompresi. Proses ini menghasilkan energi panas yang kemudian diubah menjadi energi mekanik oleh piston (Wang et al., 2022; Liu et al., 2024).

Efisiensi pembakaran sangat dipengaruhi oleh kualitas atomisasi bahan bakar serta distribusi bahan bakar dalam ruang bakar (Zhu et al., 2023; Robinson et al., 2025).

J. Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran merupakan indikator utama dalam menentukan performa mesin diesel. Pembakaran yang efisien dapat meningkatkan daya mesin serta mengurangi konsumsi bahan bakar (Fu et al., 2025; Wang et al., 2022).

Sebaliknya pembakaran yang tidak sempurna dapat menyebabkan peningkatan emisi gas buang serta penurunan efisiensi energi mesin (Zhu, 2023; Robinson et al., 2025).

K. Kebocoran pada Sistem Bahan Bakar

Kebocoran pada sistem bahan bakar dapat terjadi akibat keausan komponen, kerusakan seal, atau kesalahan pemasangan komponen sistem bahan bakar (Wang et al., 2022; Liu et al., 2024).

Kebocoran tersebut dapat menyebabkan penurunan tekanan injeksi serta ketidakstabilan suplai bahan bakar menuju ruang bakar (Zhu et al., 2023; Borowiec et al., 2023).

L. Dampak Kebocoran Bosch Pump terhadap Kinerja Mesin

Kebocoran pada Bosch pump dapat menyebabkan tekanan injeksi bahan bakar menurun sehingga atomisasi bahan bakar menjadi tidak optimal. Kondisi ini dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna yang berdampak pada penurunan daya mesin serta peningkatan konsumsi bahan bakar (Wang et al., 2022; Zhu et al., 2023).

Selain itu, ketidakstabilan volume bahan bakar yang disemprotkan dapat menyebabkan pembakaran yang tidak merata antar silinder sehingga mengganggu kinerja mesin secara keseluruhan (Robinson et al., 2025; Liu et al., 2024).

1. Tekanan Injeksi pada Mesin Diesel

Tekanan injeksi merupakan parameter utama dalam sistem bahan bakar mesin diesel yang menentukan kemampuan bahan bakar untuk disemprotkan melalui *injector* dalam bentuk kabut halus. Tekanan ini dihasilkan oleh mekanisme kerja *plunger* dan *barrel* pada pompa injeksi. Tekanan injeksi yang tinggi diperlukan untuk menghasilkan distribusi bahan bakar yang baik di dalam ruang bakar (Heywood et al., 2021)

Selain itu, kestabilan tekanan injeksi sangat berpengaruh terhadap performa mesin diesel, khususnya pada kondisi beban tinggi seperti pada mesin kapal (Lilly et al., 2023).

2. Kebocoran pada Sistem Pompa Injeksi

Kebocoran pada pompa injeksi umumnya disebabkan oleh keausan komponen seperti *plunger*, *barrel*, dan *seal*, serta meningkatnya *clearance* antar komponen. Kondisi ini menyebabkan sebagian bahan bakar bertekanan tinggi tidak tersalurkan ke *injector*, sehingga mengakibatkan penurunan tekanan injeksi (Bosch & Staff, 2022)

Keausan pada komponen presisi sistem injeksi juga secara langsung mempengaruhi kestabilan tekanan dan kinerja sistem bahan bakar secara keseluruhan

3. Hubungan Tekanan Injeksi dan Atomisasi (Kondisional)

Atomisasi bahan bakar adalah proses pemecahan bahan bakar menjadi partikel kecil saat keluar dari *injector*, yang sangat dipengaruhi oleh tekanan injeksi. Tekanan injeksi yang lebih tinggi cenderung menghasilkan ukuran partikel yang lebih halus sehingga meningkatkan pencampuran dengan udara

Namun, kualitas atomisasi tidak hanya ditentukan oleh tekanan injeksi, tetapi juga dipengaruhi oleh desain *injector*, viskositas bahan bakar, dan kondisi ruang bakar, sehingga hubungan ini bersifat kondisional (Fenne et al., 2024)

4. Dampak Tekanan Injeksi terhadap Kinerja Mesin

Penurunan tekanan injeksi dapat menyebabkan distribusi bahan bakar menjadi tidak optimal, yang berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran dan performa mesin. Namun, dampak tersebut tidak selalu terjadi secara langsung dan sangat bergantung pada tingkat penurunan tekanan serta kondisi operasional mesin

Kualitas pembakaran dalam mesin diesel juga sangat dipengaruhi oleh proses pencampuran bahan bakar dan udara yang bergantung pada karakteristik injeksi

M. Diagram Kerangka Pikir

