

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Menurut Gatot Soebiyako dari Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang, pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan water coolant terhadap performance motor diesel. Metodologi penelitian menggunakan motor diesel Chevrolet LUV KB 20 dengan penggunaan water coolant. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil dari pemakaian water coolant terhadap daya motor diesel dengan menggunakan metode deskriptif. Pengujian dilakukan pada motor diesel Chevrolet LUV KB 20 dengan kondisi beban penuh dan putaran motor yang konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada kenaikan torsi terhadap campuran water coolant, baik tanpa campuran maupun dengan campuran water coolant sebanyak 2,5 Liter. Daya indikasi yang didapat adalah sebesar 6,75 HP dengan daya efektifnya sebesar 5,4 HP dengan penggunaan water coolant. Sedangkan tanpa campuran water coolant, daya indikasi sebesar 7,56 HP dan daya efektif sebesar 6,05 HP. Tekanan efektif rata-rata dengan water coolant sebesar 1,863 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan efektif sebesar 1,49 kg/cm<sup>2</sup>, sementara tanpa campuran water coolant, tekanan indikator sebesar 1,8925 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan efektif sebesar 1,514 kg/cm<sup>2</sup>. Efisiensi termal dengan water coolant sebesar 6,61% dan efisiensi termal efektif sebesar 5,29%, sedangkan efisiensi termal terendah sebesar 5,9% dan efisiensi termal efektif sebesar 4,72%. Kesimpulannya, penambahan campuran water coolant tidak berpengaruh terhadap kinerja motor diesel.

Menurut Abdul Latief Had dan Eko Haryono dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar, pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian tentang kinerja motor diesel akibat pemasangan thermostat pada Nanchang Type 2105A-3. Metodologi penelitian menggunakan motor diesel Nanchang 2105 A-3 dengan pemasangan thermostat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh thermostat pada motor diesel Nanchang 2105 A-3 terhadap prestasi mesin diesel dalam hal konsumsi bahan bakar, daya mesin, dan efisiensi termal dengan menggunakan metode deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada putaran 1022 rpm, mesin dengan pemasangan thermostat memiliki konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,0624 kg/Hp.jam, menghasilkan daya mesin sebesar 20,511 Hp, dan efisiensi termal sebesar 0,257. Sedangkan pada mesin tanpa thermostat, pada putaran yang sama, memiliki konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,063 kg/Hp.jam, daya mesin sebesar 20,379 Hp, dan efisiensi termal sebesar 0,254. Perbedaan persentase antara keduanya adalah konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,97%, daya mesin sebesar 0,64%, dan efisiensi termal sebesar 0,64%. Dengan demikian, pemasangan thermostat pada motor diesel Nanchang Type 2105A-3 memberikan perbaikan pada efisiensi mesin dan emisi gas buangnya menjadi lebih minimum.

Menurut Atmaja Kurniadi, mahasiswa PTM Otomotif IKIP Veteran Semarang, pada tahun 2014 telah dilakukan penelitian tentang efisiensi suhu kerja motor antara pemakaian water pump dan tanpa water pump pada motor diesel satu silinder merk Dongfeng S195. Metodologi penelitian ini menggunakan motor diesel Dongfeng S195 dengan dua buah mesin yang karakteristiknya sama, satu dengan pemakaian water pump dan satu tanpa pemakaian water pump, dengan menggunakan metode statistik ANOVA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil dari pemakaian water pump dan tanpa water pump pada motor diesel

serta mengetahui ada tidaknya perbedaan suhu kerja mesin pada sirkulasi air pendingin mesin diesel satu silinder merk Dongfeng S195. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemakaian water pump dan volume air pendingin 200 liter dalam waktu 360 menit, suhu kerja mesin didapatkan sebesar 84,2 °C. Sedangkan pada pengujian tanpa pemakaian water pump dengan volume air pendingin yang sama dalam waktu yang sama, suhu kerja mesin mencapai 97,2 °C. Hal ini menyimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan terhadap suhu kerja mesin antara pemakaian water pump dan tanpa pemakaian water pump pada motor diesel satu silinder merk Dongfeng S195. Dengan tingkat signifikansi 5%, penelitian ini menghasilkan nilai 11,59, sehingga efisiensi kerja selama 365 menit terpapar.

## **2.2 Kajian Teori**

### **2.2.1 Motor Diesel**

Motor diesel adalah jenis motor pembakaran dalam yang lebih spesifiknya adalah motor pemicu kompresi. Pada jenis motor ini, bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi udara yang telah dikompresi, bukan melalui penggunaan alat berenergi seperti busi. Penemuan motor diesel dilakukan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1892, dan ia menerima paten untuk penemuannya pada tanggal 23 Februari 1893. Diesel berkeinginan untuk menciptakan sebuah motor yang dapat menggunakan berbagai macam bahan bakar, termasuk debu batu bara. Ia memperlihatkan penemuannya pada Exposition Universelle (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang (yang dikenal sebagai biodiesel). Motor diesel kemudian mengalami perbaikan dan penyempurnaan lebih lanjut oleh Charles F. Kettering.

### **2.2.2 Motor diesel 4 langkah**

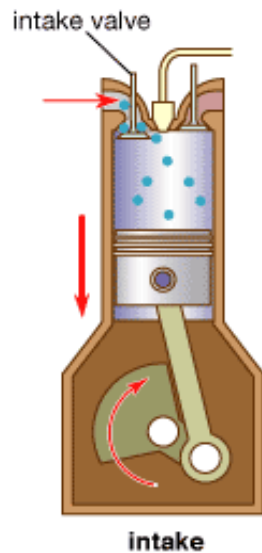
Motor diesel 4 langkah adalah jenis motor diesel di mana setiap siklusnya diselesaikan dalam 4 kali langkah torak atau 2 kali putaran poros engkol. Setiap siklusnya terdiri dari 5 proses, yaitu penghisapan, kompresi, pembakaran, ekspansi, dan pembuangan.

Prinsip kerja motor diesel adalah dengan menghisap udara murni ke dalam silinder, kemudian udara tersebut dikompresi oleh gerakan torak menuju Titik Mati Atas (TMA). Pada akhir langkah kompresi, bahan bakar (solar) diinjeksikan atau diabutkan ke dalam ruang pembakaran, sehingga bahan bakar tersebut terbakar dengan sendirinya ketika bersentuhan dengan udara yang bersuhu tinggi. Hasil dari pembakaran bahan bakar tersebut menghasilkan energi potensial dalam bentuk kalor, suhu, dan tekanan yang tinggi. Selanjutnya, torak didorong oleh tekanan yang tinggi menuju Titik Mati Bawah (TMB), sehingga menghasilkan kerja mekanik. Untuk membantu pemahaman tentang cara kerja motor diesel 4 langkah bisa dipahami dibawah ini sebagai berikut.

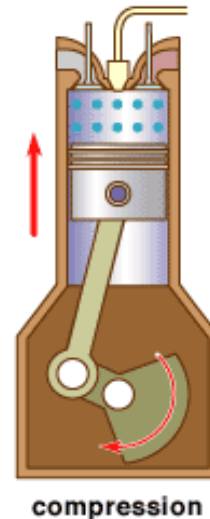
#### **2.2.2.1 Cara kerja motor diesel 4 langkah**

##### **1. Langkah hisap**

Pada tahap ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Setelah itu, katup hisap akan dibuka sebelum mencapai TMA, sementara katup buang tetap tertutup. Akibatnya, terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder karena perbedaan tekanan antara ruang bakar dan udara luar yang memasuki ruang bakar, seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Langkah hisap



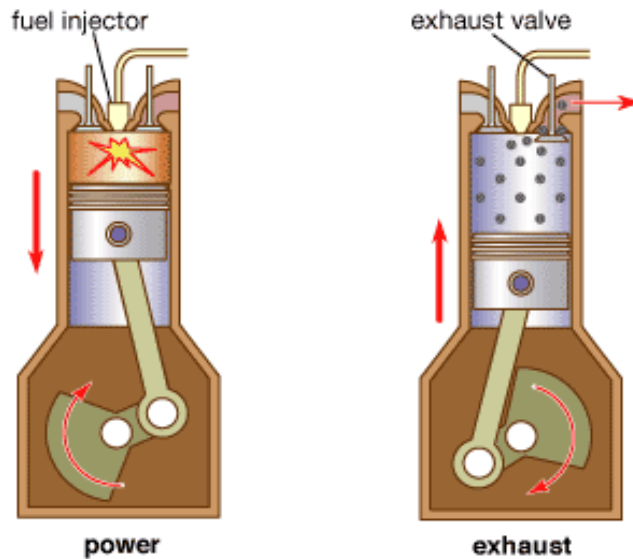
Gambar 2.2 Langkah kompresi

2. Langkah kompresi

Poros engkol berputar, kedua katup tertutup rapat, piston (torak) bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) ke TMA (Titik Mati Atas). Udara murni yang terhisap ke dalam silinder saat langkah hisap, dikompresi hingga tekanan dan suhunya naik mencapai 35 atm dengan temperatur 500-8000°C (pada perbandingan 20 : 1) seperti pada Gambar 2.2.

3. Langkah usaha

Poros engkol terus berputar, beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA (Titik Mati Atas), injector (penyemprot bahan bakar) menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar di atas torak. Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi (150-300 atm) akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena suhu ruang bakar yang tinggi (500-8000°C). Namun, pembakaran maksimal tidak terjadi langsung saat bahan bakar diinjeksikan, tetapi mengalami keterlambatan pembakaran (ignition delay). Keterlambatan pembakaran ini menyebabkan tekanan pembakaran mencapai maksimum beberapa saat setelah bahan bakar diinjeksikan, meskipun injeksi terjadi sebelum TMA. Setelah pembakaran mencapai titik puncaknya, proses pembakaran ini akan menghasilkan tekanan balik kepada piston (torak) sehingga piston akan terdorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA, dan bergerak dari TMA ke TMB (Titik Mati Bawah). Gaya yang dihasilkan dari tekanan pembakaran ini mendorong piston ke bawah, dan gaya ini diteruskan oleh batang piston (torak) untuk memutar poros engkol. Poros engkol berfungsi sebagai pengubah gerak naik-turun torak menjadi gerak putar, yang menghasilkan tenaga putar pada motor diesel. Proses ini berlangsung berulang kali dalam siklus empat langkah pada mesin diesel, yaitu langkah hisap (udara dihisap ke dalam silinder), langkah kompresi (udara dikompresi), langkah pembakaran (bahan bakar terbakar dan tekanan tinggi mendorong piston ke bawah), dan langkah buang (produk sisa pembakaran dikeluarkan dari silinder). Itulah cara mesin diesel mengubah energi panas dari pembakaran menjadi gerakan mekanis yang menggerakkan poros engkol dan akhirnya menghasilkan daya untuk menggerakkan kendaraan atau peralatan lainnya, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Langkah usaha    Gambar 2.4 Langkah buang

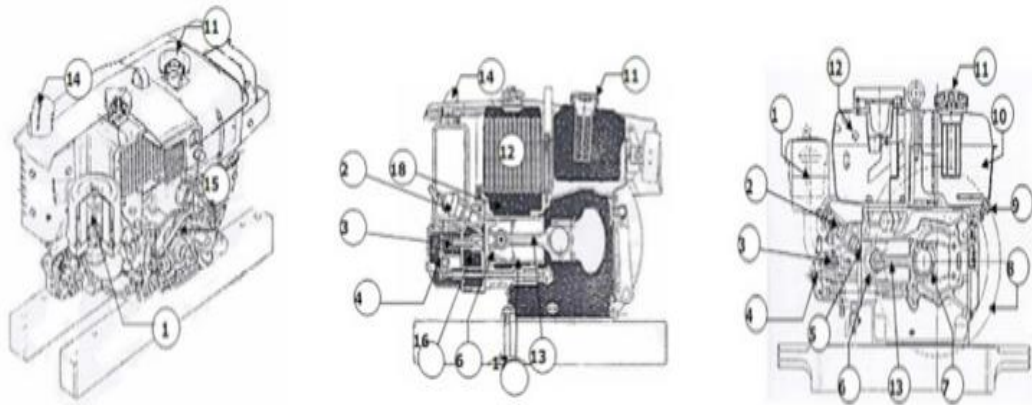
#### 4. Langkah buang

Ketika katup buang terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA, roda gaya (flywheel) yang seporos dengan poros engkol menyimpan gaya kelembaban. Setelah langkah kerja berakhir, poros engkol tetap berputar, menyebabkan torak bergerak dari TMB ke TMA. Pada saat katup buang terbuka, gas sisa hasil pembakaran didorong keluar oleh gerakan torak dari TMB ke TMA. Setelah langkah ini selesai, motor diesel 4 langkah (4 tak) akan kembali ke langkah hisap. Proses berulang ini dikenal sebagai siklus diesel, seperti pada Gambar 2.4.

##### 2.2.2.2 Konstruksi motor diesel.

Secara garis besar konstruksi sebuah motor diesel terdiri atas bagian utama dan kelengkapannya, lihat gambar 2.5.

1. Bagian-bagian utama motor diesel yang tidak bergerak (statis)
2. Bagian-bagian utama motor diesel yang bergerak (dinamis)
3. Komponen sistem bahan bakar : tangki bahan bakar, keran bahan bakar saringan bahan bakar, pompa injeksi, mekanisme governor, pipa tekanan tinggi, injektor (nozzle) dan saluran pengembalian bahan bakar.
4. Komponen sistem pelumasan motor diesel adalah sebagai berikut: panci oli (carter), saringan kasar (oil screen), saringan halus (oil filter), dan saluran penyalur oli pelumas.
5. Komponen sistem pendinginan : tangki air pendingin, mantel pendingin blok selinder (water jacket) dan komponen lain sesuai tipe pendinginan yang digunakan
6. Komponen sistem mekanisme katup yang bekerja untuk mengaktifkan atau mematikan fungsi dari katup dalam sistem langkah piston atau suatu siklus pembakaran, adapun komponen – komponennya adalah : poros bubungan (fuel camshaft), pengungkit (tappet), batang pendorong (push rod), tuas penekan katup (rocker arm), katup dan pegas katup.



Gambar 2.5 Konstruksi Motor Diesel

Keterangan

1. Saringan udara ( air cleaner)
2. Penyemprot bahan bakar ( injector nozzle )
3. Katup dan pegas katup
4. Tuas penekan katup ( rocker arm )
5. Ruang pembakaran
6. Torak
7. Poros engkol ( camshaft )
8. Roda gila ( flywheel)
9. Saluran pengeluaran bahan bakar
10. Tangki bahan bakar
11. Tutup tangki bahan bakar
12. Tangki air pendingin
13. Batang torak ( connecting rod )
14. Knalpot
15. Pompa injeksi dan pompa governor
16. Kepala silinder
17. Blok silinder
18. Mantel pendingin ( water jacket )

2.2.2.3 Proses pembakaran motor diesel

Proses pembakaran motor diesel empat langkah satu silinder putaran konstan dibagi menjadi 4 periode:

1. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delay*) (A-B)
 

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder .
2. Periode 2: Perambatan api (B-C)
 

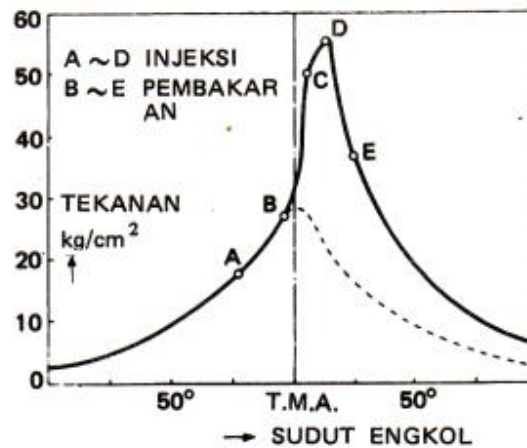
Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik. Periode ini sering disebut periode ini sering disebut pembakaran letup.

3. Periode 3: Pembakaran langsung (C-D)

Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol.

4. Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E)

Injeksi berakhir di titik D, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila pembakaran lanjut terlalu lama, temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses Pembakaran Motor Diesel

2.2.2.4 Bahan bakar motor diesel

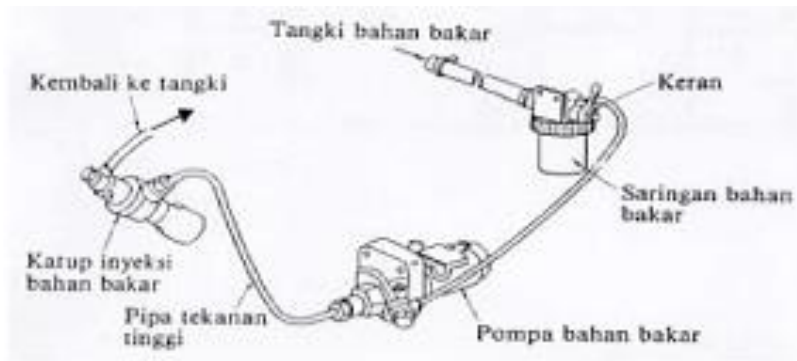
1. Sifat utama bahan bakar diesel, Bahan bakar diesel, juga dikenal sebagai light oil atau solar, merupakan campuran dari hydrocarbon yang dihasilkan setelah distilasi bensin dan minyak tanah dari minyak mentah pada suhu 200 hingga 340 derajat Celsius. Sebagian besar digunakan untuk menggerakkan motor diesel. Bahan bakar diesel memiliki beberapa sifat, di antaranya tidak berwarna atau memiliki sedikit warna kekuning-kuningan dan berbau. Bahan bakar ini encer dan tidak menguap pada suhu normal. Memiliki titik nyala tinggi, yaitu antara 40 hingga 100 derajat Celsius. Bahan bakar diesel terbakar spontan pada suhu sekitar 350 derajat Celsius, yang sedikit lebih rendah daripada suhu bensin yang terbakar sendiri, yakni sekitar 500 derajat Celsius. Selain itu, memiliki berat jenis antara 0,82 hingga 0,86 dan menghasilkan panas yang besar, yakni sekitar 10.500 kcal/kg. Bahan bakar diesel juga memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin.
2. Syarat kualitas bahan bakar diesel yang diperlukan meliputi kemampuan mudah terbakar dengan pembakaran yang cepat sehingga mesin mudah dihidupkan. Selain itu, bahan bakar diesel harus memungkinkan mesin bekerja lembut dengan sedikit knocking. Bahan bakar harus tetap cair pada suhu dingin agar mesin mudah dihidupkan dan berputar dengan lembut. Selain sebagai sumber energi, bahan bakar diesel juga berfungsi sebagai pelumas untuk pompa injeksi dan nosel, sehingga harus memiliki sifat daya pelumas yang baik. Kekentalan bahan bakar diesel juga harus memadai agar dapat disemprotkan oleh injektor. Kandungan sulfur dalam bahan bakar diesel harus sekecil mungkin karena sulfur dapat merusak komponen mesin. Stabilitas bahan bakar diesel juga penting sehingga tidak mengalami perubahan kualitas dan tetap larut selama disimpan.

3. Nomor cetane adalah cara untuk mengukur kemampuan bahan bakar diesel untuk mencegah knocking. Semakin tinggi nilai cetane, semakin baik kemampuan bahan bakar diesel dalam mencegah knocking. Terdapat dua skala indeks untuk mengontrol kemampuan bahan bakar diesel dalam mencegah knocking dan mudah terbakar, yaitu cetane index dan diesel index. Minimal tingkatan cetane yang dapat diterima untuk bahan bakar diesel yang digunakan pada mesin diesel kecepatan tinggi umumnya adalah antara 40 hingga 45. Oleh karena itu, motor diesel memiliki perbandingan kompresi yang lebih tinggi (15:1-22:1) daripada motor bensin (6:1-12:1) dan konstruksinya dibuat lebih kuat daripada motor bensin.

### 2.2.3 Sistem Bahan Bakar Motor Diesel Stasioner

Dengan cara yang sederhana, sistem bahan bakar pada motor diesel bertugas untuk menyampaikan bahan bakar ke ruang bakar dengan jumlah yang tepat sesuai dengan kebutuhan kerja motor diesel tersebut. Komponen utama dari sistem bahan bakar motor diesel 4 tak dengan satu silinder tunggal yang berorientasi horizontal terdiri dari tangki bahan bakar, keran, saringan bahan bakar, pompa injeksi bahan bakar, pipa penyalur, pipa tekanan tinggi, dan injektor (katup injeksi bahan bakar). Adapun fungsi dari masing-masing komponen sistem bahan bakar tersebut meliputi:

1. Tangki bahan bakar berfungsi sebagai tempat penampungan bahan bakar motor diesel.
2. Keran berfungsi untuk membuka dan menutup aliran bahan bakar dari tangki ke saringan bahan bakar.
3. Pipa bahan bakar berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar sampai ke injektor.
4. Saringan bahan bakar berfungsi untuk menyaring kotoran atau partikel-partikel kecil yang mengalir bersama bahan bakar, agar bahan bakar yang dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar benar-benar bersih.
5. Mekanisme governor berfungsi untuk mengatur jumlah suplai bahan bakar ke injector sesuai dengan beban kerja motor (putaran motor).
6. Pompa injeksi  
Pompa injeksi atau pompa bahan bakar berfungsi untuk menaikkan tekanan sehingga bahan bakar mampu membuka katup injeksi (melawan pegas penekan katup). Sehingga proses penyemprotan bahan bakar dalam selinder berlangsung sempurna (bahan bakar berbentuk kabut partikel kecil).
7. Injektor  
Injektor (katup injeksi bahan bakar) berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar bertekanan tinggi ke dalam ruang bakar sehingga proses pembakaran (langkah usaha) dapat berlangsung dengan baik seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Bahan Bakar Motor Diesel

#### 2.2.4 Pendinginan Motor Diesel

Pendinginan adalah proses untuk menurunkan suhu suatu benda atau lingkungan dengan cara memindahkan kalor dari objek yang akan didinginkan ke lingkungan sekitarnya. Proses pendinginan memerlukan penggunaan media untuk mentransfer panas tersebut. Beberapa kali, satu jenis fluida saja digunakan untuk pendinginan, tetapi terkadang lebih dari satu fluida kerja digunakan. Tujuan sistem pendinginan pada motor adalah untuk menjaga agar motor bekerja pada suhu normal setelah dihidupkan dan memastikan bahwa motor tetap bekerja pada suhu kerja yang sesuai.

Sistem pendinginan motor menggunakan prinsip pemindahan panas melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Panas diserap melalui konduksi dari logam di sekitar silinder, katup, dan kepala silinder, lalu disalurkan ke cairan pendingin. Selanjutnya, terjadi perpindahan panas melalui konveksi dari permukaan logam ke dalam cairan pendingin, menyebabkan air dalam kantong-kantong air pendingin yang berada di dalam blok silinder menjadi panas. Hampir sepertiga panas yang dihasilkan dari proses pembakaran motor diserap oleh sistem pendinginan, karena gesekan antara komponen motor. Karena itu, komponen sistem pendinginan harus memiliki kapasitas yang memadai dan berfungsi dengan baik.

Temperatur di ruang pembakaran motor mencapai tinggi hingga  $1.927^{\circ}\text{C}$  atau  $3.526^{\circ}\text{F}$  selama proses pembakaran bahan bakar. Demikian pula, komponen motor yang bersentuhan langsung dengan gas pembakaran juga mengalami suhu yang tinggi. Saluran-saluran dalam sistem pembuangan motor juga tidak kalah penting. Semua komponen ini harus dipelihara agar berfungsi dengan baik dan sesuai fungsinya. Untuk mencegah overheating, yaitu motor beroperasi pada suhu melebihi suhu kerjanya yang berbahaya bagi komponen motor, diperlukan sistem pendinginan yang dapat mengambil panas dari sekitar maupun dari dalam komponen tersebut.

Rata-rata suhu komponen motor relatif tinggi dibandingkan dengan suhu air mendidih. Piston memiliki suhu sekitar  $260^{\circ}\text{C}$  ( $500^{\circ}\text{F}$ ), sementara klep buang memiliki suhu  $649^{\circ}\text{C}$  ( $1200^{\circ}\text{F}$ ). Suhu ini sangat tinggi untuk membuat air mendidih. Oleh karena itu, air digunakan sebagai cairan pendingin dalam sistem pendinginan. (Nuruzzaman, 2003).

Tujuan utama dari pendinginan pada motor diesel adalah sebagai berikut :

1. Mencegah terbakarnya lapisan pelumas pada dinding silinder.
2. Mereduksi tegangan-tegangan thermis pada bagian-bagian silinder, torak, cincin torak dan katup-katup.



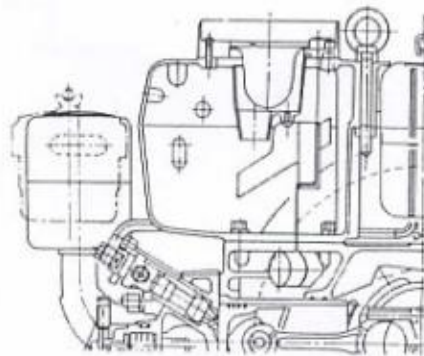
3. Menaikkan efisiensi thermal dan pendinginan itu memungkinkan sebagai pelumasan motor.

#### 2.2.4.1 Tipe-Tipe Sistem Pendinginan Air

Secara garis besarnya sistem pendinginan air di atas dapat dibagi dalam 3 tipe atau konstruksi, meliputi: tipe hopper, tipe radiator dan tipe kondensor.

##### 1. Tipe hopper

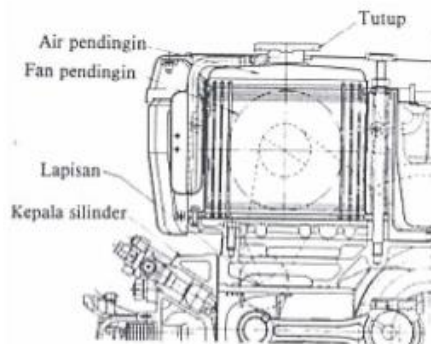
Motor diesel dengan sistem pendinginan tipe hopper menghasilkan efek pendinginan dengan mentransfer panas dari blok silinder ke air pendingin, menyebabkan air tersebut menguap ke permukaan. Dalam jangka waktu operasi tertentu (sekitar 40 menit hingga 1 jam), air pendingin dalam tangki harus diisi kembali. Indikator jumlah air pendingin dalam sistem tipe hopper ini biasanya menggunakan bola apung. Ketika bola apung tidak lagi terlihat, menandakan bahwa jumlah air pendingin telah berkurang dan perlu ditambahkan, seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pendingin Tipe Hopper

##### 2. Tipe radiator

Motor diesel dengan sistem pendinginan tipe radiator sering dilengkapi dengan kipas pendingin dan tutup radiator. Saat mesin berjalan, air di sekitar blok silinder dipanaskan dan naik ke tangki bagian atas melalui sirip-sirip radiator. Efek pendinginan terjadi ketika aliran udara dari kipas pendingin melewati sirip-sirip radiator.

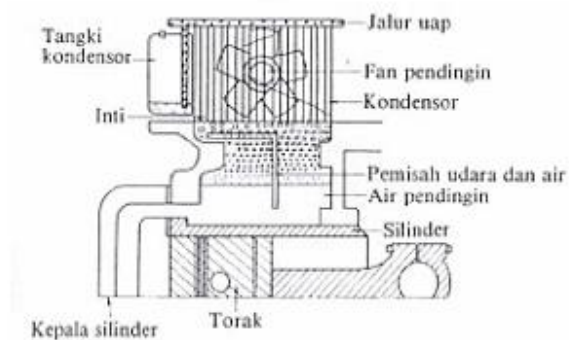


Gambar 2.9 Pendingin Tipe Radiator

Fungsi tutup radiator adalah meningkatkan tekanan udara di dalam tangki, sehingga menyebabkan titik didih air pendingin lebih tinggi dari 100°C, dan dengan demikian memperlambat proses penguapan. Kelebihannya dibandingkan dengan tipe hopper adalah frekuensi penambahan air pendingin ke dalam tangki lebih rendah, seperti Gambar 2.9.

### 3. Tipe kondensor

Motor diesel dengan sistem pendinginan tipe kondensor juga dilengkapi dengan kipas pendingin, namun bagian atasnya tidak memiliki tutup radiator. Efek pendinginannya menggunakan prinsip kondensasi, di mana uap air pendingin dialirkan melalui pipa-pipa kecil yang dihembuskan udara dari kipas pendingin sehingga mengembun dan berubah menjadi air kembali. Air tersebut ditampung dalam tangki kondensor. Ketika jumlah air pendingin dalam tangki bagian bawah (di atas blok silinder) berkurang, tekanan udaranya akan turun, menyebabkan air dalam tangki kondensor terhisap ke dalam tangki bagian bawah (di atas blok), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Keuntungan dari sistem pendinginan tipe radiator dan tipe kondensor dibandingkan dengan tipe hopper adalah mesin dapat dioperasikan selama kurang lebih 10 jam secara terus-menerus tanpa perlu menambahkan air pendingin ke dalam tangki.



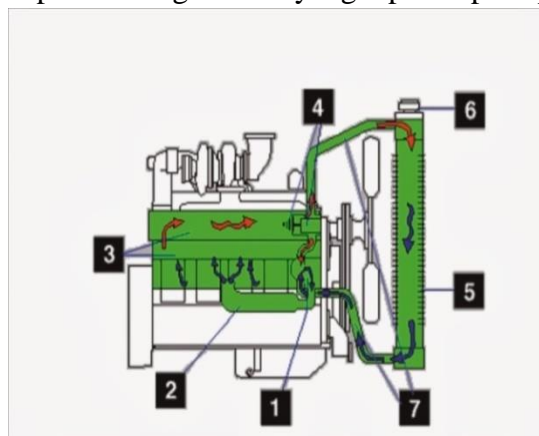
Gambar 2.10 Pendingin Tipe Kondensor

#### 2.2.5 Sistem Pendingin Radiator

Tujuan dari sistem pendinginan mesin adalah untuk mempertahankan suhu mesin agar tetap berada dalam kisaran suhu operasional yang sesuai. Sistem pendinginan ini mengalirkan cairan pendingin ke seluruh mesin untuk menghilangkan panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran dan gesekan.

##### 2.2.5.1 Bagian-bagian sistem pendingin radiator

Bagian-bagian dari sistem radiator pada motor diesel memiliki peran yang sangat vital, karena fungsinya adalah untuk mendinginkan seluruh komponen motor. Hal ini memungkinkan motor bekerja dalam kondisi optimal dengan suhu yang tepat. seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konstruksi Sistem Pendingin

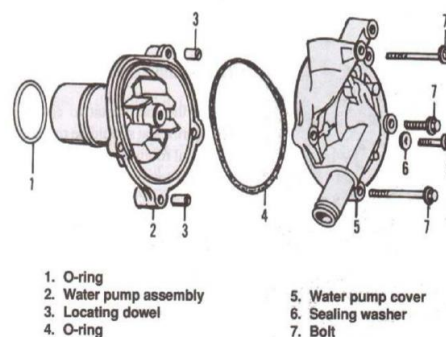
Fungsi masing-masing komponen dasar sistem pendingin adalah

1. Water pump: Berfungsi untuk mengalirkan air pendingin dengan menciptakan perbedaan tekanan antara saluran isap dan saluran tekan pada pompa.
2. Oil cooler (pendingin oli): Memindahkan panas dari oli pelumas untuk menjaga sifat-sifat dan konsentrasi oli tetap stabil.
3. Pengatur suhu/temperatur regulator: Bertugas untuk menjaga suhu kerja mesin tetap optimal.
4. Radiator: Menggunakan sirip-sirip pendingin untuk mendinginkan air dan membuang panasnya ke udara.
5. Tutup radiator: Berperan dalam meningkatkan titik didih air pendingin dengan menahan ekspansi air saat suhu meningkat, sehingga tekanan air lebih tinggi daripada tekanan udara luar.
6. Katup termostat: Berfungsi untuk mengatur aliran air pendingin, menahan sirkulasi saat suhu mesin rendah, dan membuka saluran dari mesin ke radiator saat suhu mencapai tingkat idealnya.
7. Fan (kipas): Digunakan untuk mengalirkan udara pada inti radiator agar panas dari radiator dapat dipancarkan ke udara dengan lebih efisien.

#### 2.2.5.2 Komponen Sistem Pendinginan

##### 1. Pompa air

Fungsi dari pompa air adalah untuk menarik air dan mendorongnya ke dalam sistem dengan tujuan untuk melakukan pendinginan. Umumnya, pompa air yang digunakan adalah jenis sentrifugal yang dioperasikan menggunakan perantara puli (belt), sehingga poros pompa berputar ke arah yang sama. Pompa ini biasanya digunakan dengan motor jenis pompa torak, dan letaknya harus tidak lebih tinggi dari tangki persediaan air, namun lebih rendah dari permukaan air di dalam tangki, sehingga air laut dapat masuk ke ujung pipa hisap. Ada dua jenis pompa yang dapat digunakan untuk sirkulasi air pendingin, yaitu pompa torak atau plunyer, dan pompa sentrifugal, seperti Gambar 2.12.



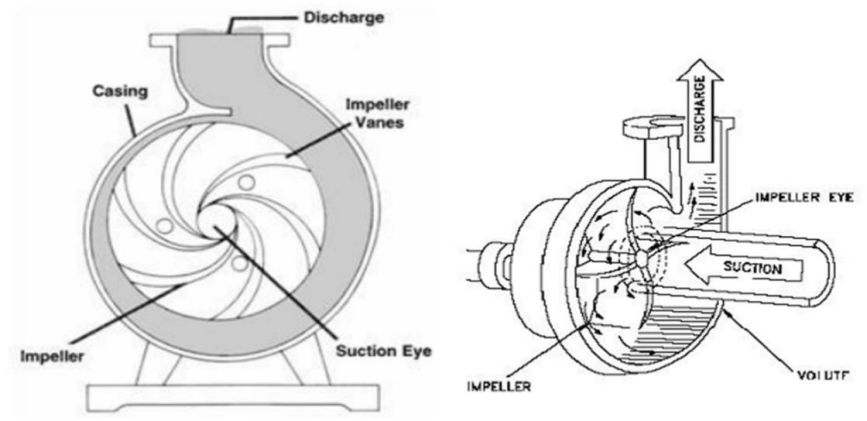
Gambar 2.12 *Water Pump*

##### 2. Pompa Torak (Plunyer)

Pompa jenis plunyer dan pompa torak umumnya digunakan untuk memompa air. Plunyer memiliki batang yang terhubung dengan tuas atau engkol, yang digerakkan langsung oleh mesin penggerak. Di antara plunyer dan silinder, pemasangan paking bus diperlukan untuk memastikan kedap rapat. Penggunaan ketel bertujuan untuk menciptakan aliran air yang tenang dan teratur saat keluar dari saluran.

### 3. Pompa Sentrifugal

Pompa ini beroperasi berdasarkan prinsip gaya sentrifugal, yang menyatakan bahwa objek yang bergerak melingkar akan mengalami gaya yang menjauhi dari pusat lintasannya. Besarnya gaya sentrifugal yang terjadi ditentukan oleh massa benda, kecepatan gerak benda, dan jari-jari lintasan melingkarnya. Pompa sentrifugal, seperti yang terlihat pada Gambar, terdiri dari sebuah kipas atau impeller (a) yang berputar di sekitar poros (c) dan sebuah pompa (b), seperti Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pompa Sentrifugal

Impeller adalah bagian berbentuk piringan berongga dengan sudut melengkung di dalamnya. Komponen ini dipasang pada poros dan dioperasikan menggunakan motor listrik, mesin uap, turbin uap, atau sumber tenaga lainnya. Di samping impeller, terdapat saluran dekat poros (d) yang terhubung dengan saluran hisap (f). Cairan seperti air atau minyak masuk ke impeller yang berputar melalui saluran tersebut. Akibat gerakan berputar impeller, cairan juga mengikuti arah putaran dan karena adanya gaya sentrifugal, cairan dipaksa keluar menjauhi pusat dan masuk ke dalam ruang di antara keliling bagian luar impeller dan rumah pompa (e). Selanjutnya, cairan dialirkan menuju saluran keluar (g). Bagian yang sempit (h) disebut lidah-lidah, yang berfungsi untuk menentukan tekanan cairan di ruang keluar (g). Jika lidah-lidah ini mengalami keausan, antara tepi luar impeller dan rumah pompa akan membesar, sehingga cairan yang sudah bertekanan akan kembali masuk ke saluran hisap melalui ruang yang telah aus. Oleh karena pompa ini bekerja berdasarkan kecepatan, ia tidak dapat menghisap sendiri, sehingga harus ditempatkan di bawah permukaan air yang ingin dipompa.

#### 2.2.6 Sistem Sirkulasi Gravitasi

Sistem ini dikenal sebagai sirkulasi thermosiphon, dirancang tanpa memerlukan pompa, dimana ruang pendingin diisi penuh dengan air, sehingga permukaan air berada di atas mulut air yang berada di bagian atas. Prinsipnya berdasarkan perbedaan massa jenis air, di mana massa jenis air panas lebih rendah daripada massa jenis air dingin. Oleh karena itu, dalam sistem gravitasi ini, partikel air yang panas cenderung naik, sementara partikel air yang dingin cenderung tenggelam. Akibatnya, sirkulasi air terjadi secara alami ketika ada pemanasan air di satu titik dan pendinginan di titik lain. Meskipun sistem ini berfungsi, namun efektivitasnya terbatas karena sirkulasi air terjadi dengan lambat sehingga kecepatan aliran tidak sesuai dengan kecepatan putaran motor.

#### 2.2.7 Sistem Sirkulasi Tekan

Sistem ini memanfaatkan sebuah pompa yang berperan dalam mengalirkan air pendingin. Pompa tersebut berfungsi untuk mendorong air melalui pipa silinder dan

mengalirkannya ke tempat penampung air. Dengan demikian, proses sirkulasi air menjadi lebih cepat daripada sistem sirkulasi thermosiphon. Dampaknya, proses pendinginan berlangsung dengan lebih efisien dan cepat.

### 2.2.7.1 Bagian-Bagian yang Didinginkan

Sistem pendinginan pada mesin bakar bertanggung jawab untuk mentransfer panas melalui air pendingin, dan ini memiliki pengaruh besar terhadap panas yang diperlukan untuk proses pembakaran di dalam silinder. Sebagian besar panas pada mesin utama dihasilkan dari proses pembakaran yang terjadi di dalam silinder. Pembakaran ini terjadi di ruang bakar, sehingga menyebabkan bagian silinder menjadi sangat panas. Namun, untuk bagian bawah silinder, perpindahan panas ke media pendingin tidak terjadi secara langsung, melainkan melalui torak dan cincin torak. Berdasarkan penjelasan di atas, bagian-bagian yang perlu didinginkan dalam mesin ini adalah sebagai berikut:

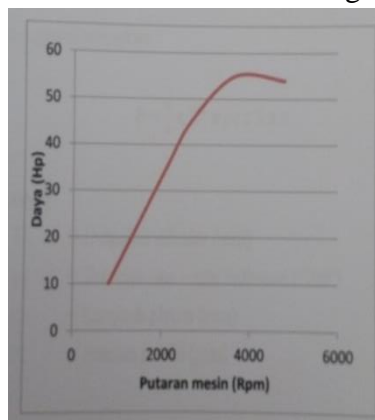
1. Silinder
2. Kepala silinder
3. Katup
4. Bantalan–bantalan
5. Tempat- tempat yang timbul panas karena gesekan adalah kepala silinder dan dinding silindernya.

### 2.2.8 Unjuk Kerja Motor

1. Menghitung daya motor

Proses pembakaran di dalam silinder akan menimbulkan tekanan pembakaran yang diteruskan untuk menekan torak akibat tekanan ini torak akan merubah tekanan tersebut menjadi gaya-gaya tersebut kemudian diteruskan ke batang torak yang nantinya akan menyebabkan perputaran poros engkol. Perputaran poros engkol ini akan menyebabkan timbulnya tenaga putar dan tenaga putar di sebut torsi

Karena perhitungan menggunakan watt maka untuk menghitung daya di gunakan rumus:



Gambar 2.14 Grafik Karakteristik Pengujian Daya

$$P \text{ (Kw)} = \frac{2\pi.N.T}{6000} \dots\dots\dots \text{Pers 1}$$

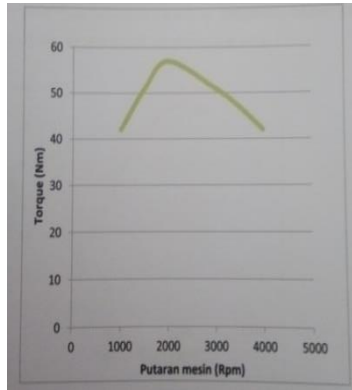
Dimana :

$P = \text{daya (kw)}$

$N = \text{putaran mesin (rpm)}$

$T = \text{Torsi (N.m)}$ .

2. Menghitung torsi



Gambar 2.15 Grafik Karakteristik Pengujian Torsi

$$T = \frac{P(kw).60000}{2\pi.N} \dots\dots\dots \text{Pers 2}$$

Dimana :

$P = \text{daya (kw)}$

$N = \text{putaran mesin (rpm)}$

$T = \text{Torsi (N.m)}$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik(Sfc)

Sfc adalah kemampuan mesin dalam menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan kerja.

$$Sfc = \frac{mf}{P} ; Mf = \frac{b.3600}{2.\pi.n} \dots\dots\dots \text{Pers 3}$$

Keterangan :

$mf = \text{laju aliran bahan bakar (kg/h)}$

$P = \text{daya (watt)}$

2.2.9 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan bidang dalam ilmu teknik termal yang mempelajari berbagai cara untuk menghasilkan, menggunakan, mengubah, dan memindahkan panas di antara sistem fisik. Perpindahan panas dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, termasuk konduksi termal, konveksi termal, radiasi termal, dan perpindahan panas melalui perubahan fasa.

Konduksi termal terjadi ketika energi kinetik partikel-partikel mikroskopis ditransfer langsung melalui batas antara dua sistem. Jika suatu objek memiliki temperatur yang berbeda dengan benda atau lingkungan sekitarnya, maka panas akan mengalir sehingga keduanya mencapai kesetimbangan termal dengan temperatur yang sama. Perpindahan panas secara alami terjadi dari tempat yang memiliki temperatur tinggi ke tempat yang memiliki temperatur rendah, sesuai dengan hukum kedua termodinamika.

Konveksi terjadi ketika aliran fluida (berupa gas atau cairan) membawa panas bersamaan dengan aliran materi. Aliran fluida dapat terjadi karena proses eksternal, seperti gravitasi atau gaya apung akibat energi panas yang menyebabkan volume fluida mengembang. Konveksi paksa terjadi ketika fluida dipaksa untuk mengalir menggunakan pompa, kipas, atau metode mekanis lainnya. Radiasi termal terjadi melalui ruang hampa atau medium transparan. Energi ditransfer melalui foton dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

## 1. Konduksi

Pada skala mikroskopik, konduksi panas terjadi sebagai perpindahan energi panas dari atom yang bergetar atau berpindah dengan cepat ke atom dan molekul di sekitarnya. Ini terjadi ketika atom-atom yang berdekatan saling bergetar dan berinteraksi, atau ketika elektron berpindah antara atom. Dengan kata lain, konduksi panas terjadi ketika energi panas dipindahkan dari partikel satu ke partikel lainnya. Konduksi adalah cara paling umum perpindahan panas pada benda padat ketika berada dalam kontak termal. Fluida, terutama gas, kurang konduktif dalam perpindahan panas. Studi tentang konduktansi kontak termal membahas perpindahan panas antara dua benda padat yang bersentuhan. Ada dua bentuk utama konduksi panas:

- a. Konduksi steady state: Terjadi ketika ada perbedaan temperatur yang menyebabkan perpindahan panas secara spontan. Setelah mencapai kesetimbangan, distribusi temperatur pada benda terkonduksi tidak berubah lagi. Pada kondisi steady state, jumlah panas yang masuk ke suatu bagian sama dengan jumlah panas yang keluar dari bagian tersebut.
- b. Konduksi transient: Terjadi ketika temperatur objek berubah seiring waktu. Analisis pada kondisi transient lebih kompleks dan sering menggunakan analisis numerik komputer untuk berbagai aplikasi.

## 2. Konveksi

Konveksi, juga dikenal sebagai perpindahan panas konvektif, adalah perpindahan panas dari satu tempat ke tempat lain yang terjadi karena adanya pergerakan fluida. Proses ini melibatkan perpindahan massa bersamaan dengan perpindahan panas. Gerakan simultan dari fluida ini menyebabkan peningkatan perpindahan panas dalam berbagai situasi, seperti antara permukaan padat dan permukaan fluida. Konveksi adalah metode umum perpindahan panas yang terjadi pada cairan dan gas. Konveksi bebas terjadi ketika gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang timbul karena perbedaan massa jenis akibat perbedaan temperatur di dalam fluida.

## 3. Radiasi

Radiasi termal merupakan energi yang dilepaskan oleh benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik karena adanya energi termal di dalam semua benda yang memiliki suhu di atas nol mutlak. Radiasi termal terjadi sebagai hasil dari perpindahan acak dari atom dan molekul dalam benda. Karena atom dan molekul ini mengandung partikel bermuatan seperti proton dan elektron, gerakan mereka menghasilkan pelepasan radiasi elektromagnetik yang membawa energi. Radiasi dari matahari dapat dimanfaatkan untuk tujuan pemanasan dan pembangkitan tenaga listrik. Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi termal bisa dikumpulkan pada satu titik menggunakan kaca pemantul, dan selanjutnya, energi ini dapat digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga surya.